NO. 5

Oct. 1955

BULLETIN OF TOHOKU REGIONAL FISHERIES RESEARCH LABORATORY

東北海區水產研究所研究報告

第5號

水　產　廳

東北海區水產研究所

宮城縣塩釜市

昭和30年10月

TOHOKU REGIONAL FISHERIES RESEARCH LABORATORY

SHIOGAMA, MIYAGI PREF., JAPAN

東北海區水產研究所 研究報告 第5號 正誤表

頁	場所	誤	正
著者	川合		
2	上から14行	pole and linefi sheris	pole and line fisheries
23	Fig. 12 説明文（英文）	Temperatnre	Temperature
著者	梅本		
109	上から14行	チクワの處理の	チクワの H_2O_2 處理の
110	上から 7行	H_2O_2庭理法	H_2O_2 處理法
著者	八百		
45	上から11行	卵粒の形成はが不明瞭	卵粒の形成は不明瞭
49	上から16行	カツオをは	カツオは
52	左圖最下段	第6の3圖	第6の6圖
著者	奥田		
80	上から15行	Standing after～	Standing time after～
81	下から2行	前後に於ける海水中の燐含量に關して	前後に於いて添加海水中の燐含量が

東北海區水產研究所 研究報告 第4號 正誤表

著者	奥田	
199	第13圖と第14圖の說明はそのままにして圖丈け上下入替える	
200	第15圖と第16圖の 〃 〃 〃 〃	

東北海區水產研究所 研究報告 第5報

目　次

東北海区における極前線帶とその変動について(第2報) ..... 川　合　英　夫　1

日本近海のカツオの卵巣について ..... 八　百　正　和　43

移殖サルボウの成長について ..... 谷　田　專　治　53

養殖海苔の色沢変化に関する研究　第2報　脂溶性色素及び水溶性色素の変化について ..... 佐　野　　孝　64

内湾底土中の可溶性栄養塩について　第4報　底土と海水間における可溶性無機燐の行動に関する一実験 ..... 奥　田　泰　造　79

魚類肝臓及び其の他の器官におけるビタミンAの存在状態に関する研究(第1報) ..... 山　村　彌六郎　92

チクワ漂白の目的で行われている過酸化水素処理についての検討 ..... 梅　本　　滋　103

東北海區における極前線帶とその變動について 第2報)※

川 合 英 夫

ON THE POLAR FRONTAL ZONE AND ITS FLUCTUATION IN THE WATERS TO THE NORTHEAST OF JAPAN. (II)

(Manuscript received Aug. 1955)

By

Hideo KAWAI

In a previous paper (Kawai, 1955), a general description on the hydrographic conditions in the vicinity of the Polar Frontal Zone and its fluctuation was reported. In this paper is given a more detailed consideration especially regarding the Kuroshio Front (Kawai, 1955) and the warm core.

I. Distribution of Temperature, Chlorinity, and σ_t etc. in the Vicinity of the Kuroshio Front and the Warm Core

Basing almost all oceanographic observations, which had been carried out in the southern part of the waters to the northeast of Japan from 1950 to Aug. 1954 by marine observatories of Japan (Table 1), the following synoptic description has been obtained (Figs. 1~12, 15).

(1) The Kuroshio Front and the warm core stretch at least to 153°E (Fig. 10).

(2) The axis of the Kuroshio Front, that is also the axis of the jet stream along the Kuroshio Front, is located above the subsurface (100~600m) boundary with maximum horizontal gradient of temperature. Further they coincide with the maximum part of the horizontal gradient of 0~600m vertical mean temperature (Fig. 12).

(3) The warm core is recognized generally above the 200m depth layer to the south (right) of the Kuroshio Front. Sometimes the "Surface Warm Core" (above 50m depth layer) and the "Subsurface Warm Core" (nearly in the depth layer of 100m) discontinuously split off, so that in some depth layer there is a double warm core (Figs. 7, 8).

(4) Throughout nearly all seasons the warm core exists, but when the north-south exchange of water masses is intense (e. g. in May), it breaks down sometimes (Fig. 9).

(5) For chlorinity no corresponding band to the warm core is recognized, but for density the "Minimum Density Zone" is discovered (Fig. 7).

(6) The depth to the first thremocline found in summer abruptly drops about

※ 東北海區水産研究所業績 第62號

the Kuroshio Front and reaches to 20～60m in the warm core, but in the outer cold zone (Kawai, 1955), which is found to the south of the warm core, the depth to the thermocline again becomes shallow (Fig. 10 d).

(7) In the warm core the horizontal velocity gradually decreases towards the right (Figs. 12, 15), so that the warm core corresponds to the "transition zone" (Haurwitz & Panofsky, 1950) of the current distribution.

(8) The inner cold zone (Kawai, 1955) has the pattern as if the second branch of the Oyashio is stretched towards the east by the jet stream along the Kuroshio Front (Figs. 4, 7). This fact may be taken as an illustration of Sverdrup's opinion that "the Intermediate Water of lower salinity does not flow directly south but flows toward the east" (Sverdrup et al., 1946 p. 718).

(9) In the warm core, which is considered the desert area, any fishing-ground is not congested and developed owing to poor nutrients and planktons, but in the outer cold zone fishing-grounds of pole and linefi sheries, especially fishing-grounds of albacore (*Germo germo*), are congested and developed about June. In the vicinity of the Kuroshio Front adjacent to the inshore cold zone fishing-grounds of purse seine fisheries are found from late spring to early summer. Along the Kuroshio Front in the off-shore area shoals of skipjack (*Katsuonus pelamis*) are frequently found, but the fishing-ground is not formed because the biting condition is not good (Figs. 2, 3).

II. The Law of Parallel Solenoidal Field

In the first paper the writer determined the representative isolines of the Kuroshio Front and Oyashio Front using the fact that along the frontal strong current the parallel solenoidal field is formed. In this paper introducing locally the natural coordinate he shows the equations of general stationary current including the inertia term, vertical motion, and Austausch. Next he consideres the necessary and sufficient conditions for the establishment of the law of parallel solenoidal field, Bernoulli's theorem, and the conservation theorem of the absolute vorticity.

III. The Deviated Field from the Parallel Solenoidal Field····Internal Dynamics of the Frontal Strong Current

The general field in the vicinity of the Kuroshio Front is divided into two fields, namely the parallel solenoidal field and the deviated field. The equation of the parallel solenoidal field as the basic state is just the same as the equation of the geostrophic current (sometimes the gradient current). Moreover the deviated field is far smaller than the parallel solenoidal field. If we cancel the equation of the parallel solenoidal field from the equation of the general field neglecting the second power product as to the deviated field, then we can obtain the equation of the

deviated field (Eq. 25). In this way the equation of the transversal current is obtained as a deviated field in the vicinity of the Kuroshio Front (Eqs. 26, 27). In a practical calculation is treated the transversal current in the surface layer across the Kuroshio Front. From this result it is concluded that just to the left of the axis of the jet stream there is a convergent descending motion and just to the right a divergent ascending motion, and on the axis of the jet stream a deviated horizontal current towards the left is found (Fig. 16). This result coincides with the current distribution obseved by GEK (Fig. 15).

目　　次

I．緒　　言

II．黑潮前線・最高水溫帶附近の水溫。塩素量。σ_tなどの分布

（1） 1950年5月の海況
（2） 1952年6月の海況とビンナガマグロの漁況
（3） 1952年8月の海況
（4） 1953年初夏における蒼鷹丸による zigzag 横斷調査
（5） 1954年5月の海況
（6） 1954年8月における蒼鷹丸による zigzag 横斷調査
（7） 黑潮前線・最高水溫帶附近の海況についての要約

III．平行 solenoid 場の法則

（1） 自然座標系の諸性質
（2） 自然座標系で表わした運動方程式
（3） 定常流の流線に沿つた不變量……平行 solenoid 場の成立條件
（A） Stationary accelerated current
（B） Horizontal stationary accelerated current
（C） 傾 度 流
（D） 前線强流帶

IV．平行 solenoid 場よりの偏倚場……前線强流帶の內部力學

（1） 偏倚場の分離
（2） 黑潮前線橫斷面內の環流

V．結 語。要 約

參 考 文 献

I. 緒　　言

第1報（川合，1955）においては標題について全般的な報告を行つたが、本稿においては主として黑潮前線・最高水溫帶に重點をおいて考察する。ここに黑潮前線とは第1報に示したように

黒潮本流の流軸を指す。

本州南方近海における黒潮についての吾々の知識は比較的に詳しいが、黒潮本流が大陸棚から完全に離れてしまう野島崎以東の海區については、1933年8月の一齊海洋調査（宇田, 1935)以外には最近まで餘り詳しく調査・研究されていない。その理由の一つは地理的自然と觀測定線の形によるものであり、東北海區においては黒潮前線が本州より離れ沖合にそれるためにかなり沖まで調査船を出動させねばならず、これに要する勞力と經費が大きいこと，從來の觀測定線は東北海區では緯度線に平行に東西にのびるものが大部分であり、cross-current な觀測斷面を得ることができなかつたこと，更に房總南東海區では觀測定線が扇狀に擴がつているために觀測の盲點があつたことなどが擧げられる。別の理由としては黒潮流域では一般に榮養塩が少く、6月のビンナガマグロの漁期以外には房總東部沖合に漁場の停滯・發達がなく、調査の必要に迫られなかつたことなどが擧げられる。

次に最高水溫帶については Dietrich (1937) はメキシコ灣流に沿つて "Ribbon of Hot Water" があることを指摘している。更に1950年に實施された Operation Cabot は "Warm Core" の存在を確認した（Fuglister & Worthington, 1951)。黒潮については、宇田（1940）は1938年，1939年に實施された紀南沖冷水塊調査の結果から、冷水塊を迂廻する黒潮本流に沿つて、25 m から 200 m の各層の等溫線圖において、最高水溫帶が舌狀にのびていることを指摘している。これらは皆同一の現象であろう。しかし東北海區において最高水溫帶が存在するかどうかは最近まで不明であり、事實從來描かれた東北海區の等溫線圖の殆んど全部は否定的な結果を示していた。最高水溫帶の幅は 20～50 浬の狹いものであり、水平方向の溫度傾度も inner edge 側（流れ去る方向に向いて左手）では大きいが outer edge 側（流れ去る方向に向いて右手）では小さく、しかも最高溫部と outer edge 側の最低溫部（外側低溫帶）との水平方向の溫度差は1°C 前後であるから、粗い調査結果によつては、その存否を斷定することはできない。

筆者は1952年6月の房總東方海區の表面水溫資料から、東北海區においてもかなり沖合まで最高水溫帶が存在することを確認し、1953年，1954年に蒼鷹丸に乘船して最高水溫帶の zigzag 橫斷調査を實施した。以下これらの結果について報告する。尙中央氣象臺では凌風丸により1954年11月以降黒潮前線・最高水溫帶の zigzag 橫斷調査を始めたが、その結果もまた最高水溫帶の存在を明らかにしている（Masuzawa, 1955).

また第1報緒言において、戰後の東北海區における海洋觀測技術には殆んど質的變化が認められないと述べたが、上記のように蒼鷹丸による1953年，1954年夏季及び中央氣象臺凌風丸による1954年秋季以降各季の黒潮前線・最高水溫帶の zigzag 橫斷調査，海上保安廳水路部による1953年秋季以降の GEK を用いての每時測流などが示すように、戰後10年に及んで一轉機に達した。

本研究に多大の御配慮をいただいた當研究所長木村喜之助博士，海洋觀測に全面的な御協力をいただいた蒼鷹丸船長今村喜市氏・一等航海士陣野哲朗氏以下の乘組員の方々，調査員として乘

船された當海洋資源部の方々，觀測資料整理を手傳われた森英夫君に厚く御禮を申上げる。尙第III節に述べる平行 solenoid 場については、京都大學防災研究所長速水頌一郎博士の御研究に負う所が多く、懇切な御教示をいただいたことに對して厚く御禮を申上げる。

II. 黒潮前線・最高水溫帶附近の水溫・塩素量・σ_t などの分布

黒潮前線の形を定めるには充分深い層を基準面として描いた海面の力學的高低圖によるべきであるが、黒潮前線は 100 m 層の等溫線圖に現われる潮境によつても、その形を推定することができ、夏では 100 m 層で 15°C 前後，冬では 13°C 前後の等溫線を中軸とする著しい潮境により代表され得ることを第 1 報において述べた。また最高水溫帶は 200 m 層以淺に現われることが多い。從つて以後主として 100m 層の等溫線圖によつて考察を進める。これに用いた資料は當研究所・各縣水產試驗場が觀測に當つた分のみでなく、他官廳の觀測結果も同時期のものは殆んど全部を用いた（第1表）。期間は 10～20 日に區切り、黒潮本流の流域に當たる東北海區南部の觀測が實施された分についてのみ報告する。

第1表　用いた下層觀測資料一覽

* （ ）内は東北水研調査員名
** 作圖に用いた資料に相當する分のみ
○×は圖の觀測點の區別

船名	調査機關 *	期間 **	區域
1950年5月中下旬			
岩手丸	岩手水試・東北水研(福島)	○ 5月22日～29日	常磐沖500浬
大東丸	宮城水試・東北水研(川崎)	○ 5月15日～23日	常磐沖500浬
共盛丸	福島水試・東北水研(小川)	○ 5月19日～25日	常磐沖500浬
東奥丸	青森水試大畑分場	○ 5月24日	尻屋崎～恵山岬
新南丸	中央氣象臺	○ 5月24日～30日	C線
第4海洋丸	水路部	○ 5月19日～24日	三陸沖150浬
〃	〃	× 5月 9日～10日	三陸沖150浬
1952年6月上中旬			
岩手丸	岩手水試・東北水研(福島)	○ 6月11日～20日	岩手縣東1000浬
北上丸	岩手水試・東北水研(小達)	○ 6月 6日～ 8日	南方はえなわ漁場往航
大東丸	宮城水試	○ 6月 7日～ 8日	常磐沖500浬
〃	〃	○ 6月14日～16日	常磐沖500浬
神威丸	三重水試	○ 6月 7日，19日	ビンナガマグロ漁場觀測
夕汐丸	函館海洋氣象臺	○ 6月 3日～ 8日	北海道南部
新南丸	中央氣象臺	○ 6月12日～16日	C線
生名丸	中央氣象臺	○ 6月 6日～12日	北方定點
1952年8月上中旬			
蒼鷹丸	東北水研（川合）	○ 7月31日～8月7日	親潮前線調査
〃	〃 （小達・相澤）	○ 8月16日～19日	尻屋崎東北東1000浬（一部使用）
早池峯丸	岩手水試	○ 8月14日	尾崎正東50浬
大東丸	宮城水試	○ 8月10日～14日	金華山正東500浬
磐城丸	福島水試	○ 8月 2日～ 9日	鮫角正東1000浬(一部使用)
茨城丸	茨城水試	○ 8月10日～17日	尾崎正東1000浬(一部使用)

鵜　來　丸	中央氣象臺	○ 8月 2日～14日	C線・北方定點
竹　生　丸	中央氣象臺	○ 8月 2日～ 3日	北方定點
第5海洋丸	水　路　部	○ 8月 4日～20日	常磐沖200浬
第1成洋丸	水產廳調查研究部	○ 8月 4日～20日	北海道南東部
建　洋　丸	太洋漁業	○ 8月 6日～19日	三陸沖

1953年6月下旬

蒼　鷹　丸	東北水研（川合）	○ 6月25日～7月1日	黑潮前線W横斷
宮　古　丸	宮古水高・岩手水試	○ 6月20日～27日	三陸沖300浬
磐　城　丸	東北水研（福島） 福島水試	○ 6月21日～23日	野島崎東南東500浬（一部使用）
志　賀　丸	中央氣象臺	○ 6月24日～26日	C線
第11關丸	太洋漁業	○ 6月28日～30日	三陸沖鯨族調查

1953年7月上中旬

蒼　鷹　丸	東北水研（川合）	○ 7月11日～17日	黑潮前線W横斷
第1旭丸	東北水研（小達）	○ 7月17日～18日	津輕海峽東部・襟裳岬～鮫角
宮　古　丸	宮古水高・岩手水試	○ 7月 1日～ 6日	三陸沖200浬
〃	東北水研（福島） 〃	○ 7月 9日～16日	三陸沖200浬
早池峯丸	岩手水試	○ 7月15日	尾崎，棒島正東50浬
〃	〃	○ 7月18日	黑崎正東30浬
夕　汐　丸	函館海洋氣象臺	○ 7月 5日～12日	北海道南部
竹　生　丸	中央氣象臺	○ 7月11日～13日	C線
親　潮　丸	宮古測候所	○ 7月17日	鮫角正東20浬
第11關丸	太洋漁業	○ 7月10日～15日	三陸沖鮫族調查

1954年5月

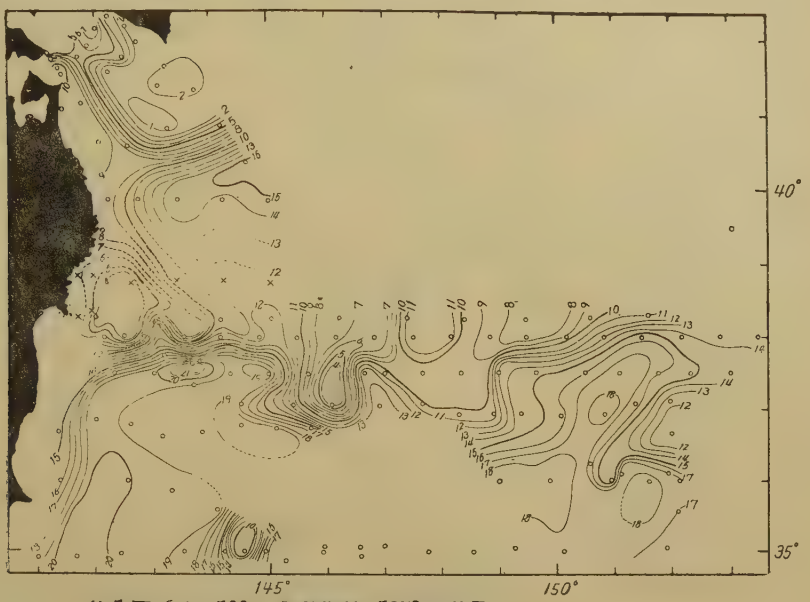
光　洋　丸	北海道水試	○ 5月13日～17日	襟裳岬正東500浬・ノサップ崎正東300浬
北　上　丸	岩手水試	○ 5月 7日～17日	尾崎正東500浬・鮫角沖
宮　城　丸	宮城縣	○ 5月 1日～ 5日	金華山正東500浬
磐　城　丸	福島水試	○ 4月28日～5月2日	塩屋崎正東500浬
千　葉　丸	千葉水試	○ 5月10日～12日	房總近海
〃	〃	× 5月18日～19日	野島崎南東170浬（一部使用）
茨　城　丸	茨城水試	× 5月18日～21日	犬吠崎正東500浬
夕　汐　丸	函館海洋氣象臺	× 5月22日～24日	北海道南部
凌　風　丸	中央氣象臺	× 5月18日～23日	常磐沖300浬

1954年8月上中旬

蒼　鷹　丸	東北水研（川合・八百）	○ 8月 2日～14日	塩屋崎正東1000浬・黑潮前線W横斷
光　洋　丸	北海道水試	○ 8月 4日～ 7日	ノサップ崎正東700浬
早池峯丸	岩手水試	○ 8月17日	尾崎正東50浬
どるふいん號	宮城水試氣仙沼分場	○ 8月11日	金華山沿岸
第4海洋丸	水　路　部	○ 8月 2日～14日	144°E線・他
かわちどり	水　路　部	○ 8月13日～15日	三陸沖150浬
夕　汐　丸	函館海洋氣象臺	○ 8月 7日～15日	北海道南部
〃	〃	× 8月21日～22日	北海道南部
北　上　丸	岩手水試	× 8月22日～24日	鮫角正東1000浬（一部使用）
平和茨城丸	茨城水試	× 8月21日～23日	犬吠崎正東500浬

(1) 1950年5月の海況

100 m 層等溫線〔第1圖(a)〕を見ると、黑潮前線は近海では 15°C, 沖合では 13°C 前後の



第1圖 (a) 100m 層等溫線, 1950年5月
○ 5月 15 日～30 日　× 5月 9 日～10 日

Fig. 1 (a) Distribution of temperature (°C) at a depth of 100m. *Circles* and *crosses* indicate oceanogr. sts. observed during May 15–30 and May 9–10, 1950 respectively.

第1圖 (b) 100m 層等塩素量線, 1950年5月　觀測期間は前圖と同じ

Fig. 1 (b) Distribution of chlorinity (‰) at a depth of 100m. Observed period is the same as in Fig. 1 (a).

等溫線をほぼ中軸としてのび、平年より北偏した位置にある。この南側には水溫 19°C 以上（犬吠崎近海では 20°C 以上）の最高水溫帶が 145°E 附近まで斷續して認められるが、更にこの沖合は惡天候のため缺測不明である。また塩素量の分布〔第1圖(b)〕には最高水溫帶に相當するものが明瞭に現われていない。水溫・塩素量の兩分布には第1報の海況模式圖に示したような次の各種の暖・冷水塊が明瞭に認められる。

C_N：野島崎沖冷水塊

C_1：親潮第1分枝先端の冷水塊（金華山近海）

C_2：親潮第2分枝先端の冷水塊

W_1：黒潮第1分派に相當する暖水塊

しかし次の暖・冷水塊は缺測不明である。

W_H：北海道沖暖水塊

W_2：黒潮第2分派に相當する暖水塊

W_1'：W_1 の更に北側の暖水塊

(2)　1952年6月の海況とビンナガマグロの漁況

1952年6月には房總東方沖合でビンナガマグロの未曾有の大漁があつた。この時に集められた

第2表　1952年6月における表面水溫觀測船名

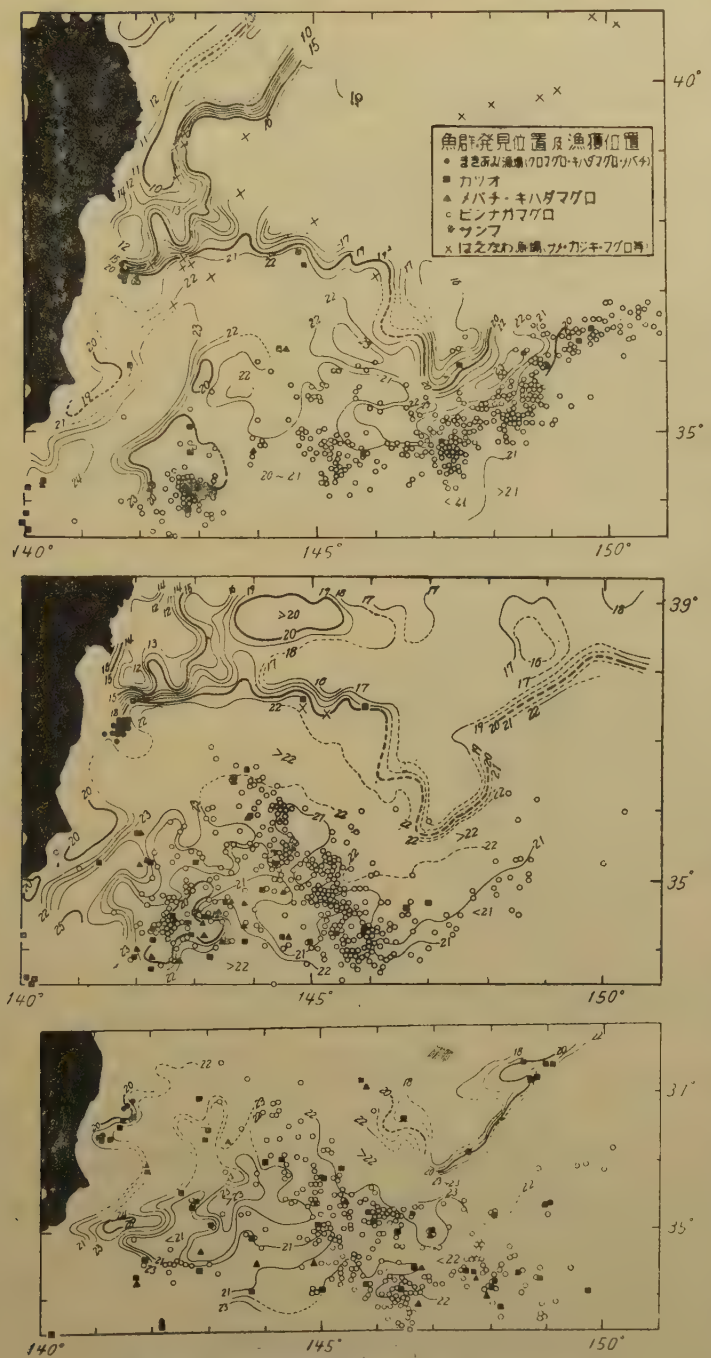
調査船・縣水産試驗場指導船

船名	調査機關	期間 *
夕汐丸	函館海洋氣象臺	6月5日～8日
親潮丸	宮古測候所	6月6日，10日，14日，20日
新南丸	中央氣象臺	6月11日～20日
生名丸	中央氣象臺	6月6日～17日
岩手丸	岩手水試・東北水研	6月11日～20日
北上丸	岩手水試・東北水研	6月5日～8日
大東丸	宮城水試	6月5日～11日，14日～16日，18日～20日
神威丸	三重水試	6月6日～14日，17日～20日

調査委託漁船

船名	所屬縣	根據地	期間 *
昭鵬丸	靜岡	御前崎	6月6日～16日，18日～20日
光照丸	〃	〃	6月6日～10日，16日～20日
海運丸	〃	〃	6月6日～10日
福神丸	〃	〃	6月6日～8日
第12寶松丸	〃	燒津	6月6日～8日
第3八千代丸	〃	〃	6月15日～20日
第5虎勢丸	〃	用宗	6月6日～11日
第2日光丸	〃	清水	6月6日～12日
第5日康丸	福島	江名	6月16日～20日
第12八龍丸	宮城	三崎	6月6日～7日，10日～18日，20日

*　作圖に用いた資料に相當する分のみ



第2圖　表面等溫線と魚群の分布，1952年6月
（上）6日～10日，　（中）11日～15日，　（下）16日～20日

Fig. 2　Surface temp. (°C) and location of fish shoals in June of 1952. *Upper*: June 6-10, *Middle*: June 11-15, *Lower*: June 16-20.

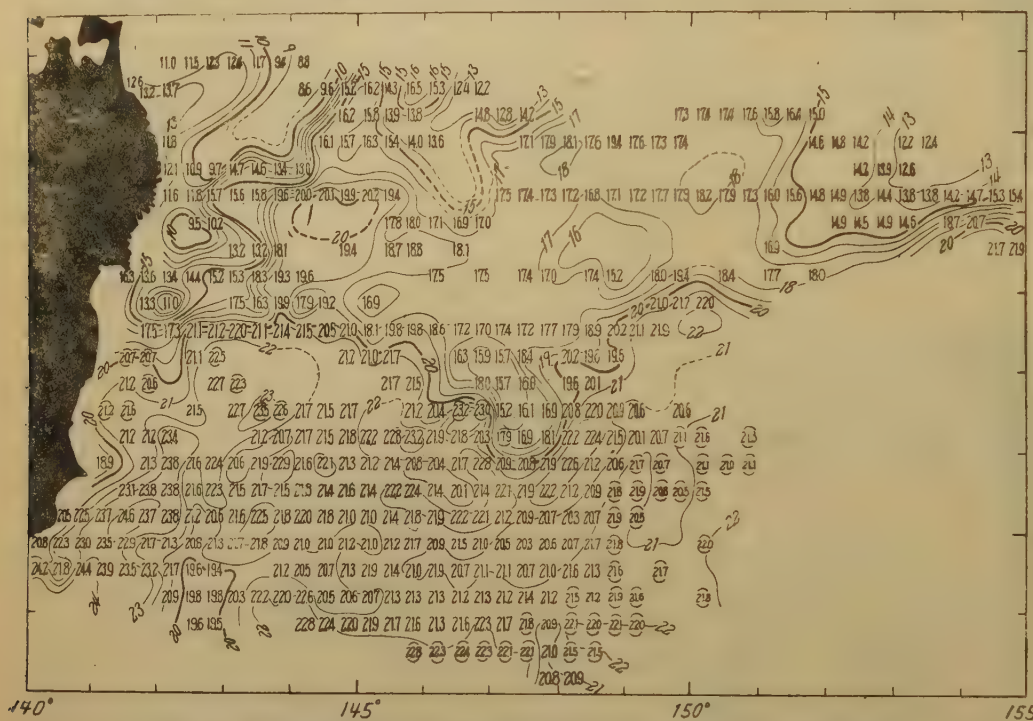
漁船によるビンナガマグロ漁獲時の表面水溫觀測資料は尨大な量に達するが、これらは原則として用いないことにした。その理由は、これらを用いるとビンナガマグロの適水溫範圍内の水溫値のみが位置の誤差を伴つて海圖上に記入されるので、適水溫の覆う範圍が不當に誇張されて大きくなるからである。特にこの時のビンナガマグロ漁場は外側低溫帶（最高水溫帶の南側の低溫域）にあるから、幅の狹い最高水溫帶はこれらの資料により打消されてしまう。しかし漁獲水溫でなく航海中毎時（時には數時間おきに）觀測された表面水溫資料には上述の偏りが少いから、調査委託漁船と調査船・縣水試指導船により得られた資料（第2表）を用いて半旬別表面等溫線（第2圖）を描いた。またこの圖には魚群の發見位置・漁獲位置（一般漁船の分も含む）も示されている。

これらの圖には表面水溫22°C 以上（近海では23°C以上）の最高水溫帶が明らかに認められ、第2圖（上），（中），（下）の3枚を重ねると、ビンナガマグロ漁場は外側低溫

帯に一面に分布していることがわかる。

6月上旬後半〔第2圖（上）〕には16°C前後の冷水域にもビンナガマグロ魚群が棲息しているかのように見受けられるが、これは前述のように漁獲位置と表面水温の資料の出所が異なり、前者の位置の狂いによるものであろう。

次に第2圖に用いられた水温資料を全部綜合して、6月6日から20日までの平均値を緯度・經度20分の桝目毎に求め、これを基として内挿法により純客觀的に描いた表面等温線が第3圖である。



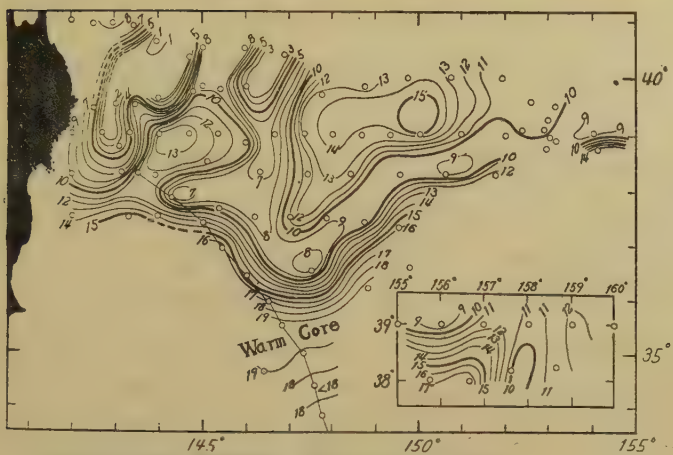
第3圖　緯度經度 20 分の桝目毎の表面水温平均値，1952年6月6日～20日

括弧はまきあみ漁船の觀測値あるいは21日～25日の平均値．尙6月5日の觀測値を用いた所もある（第2表）。

Fig. 3　Surface temperature (°C) averaged in every 20 minutes (lat. and long.) square during June 6–20, 1952.

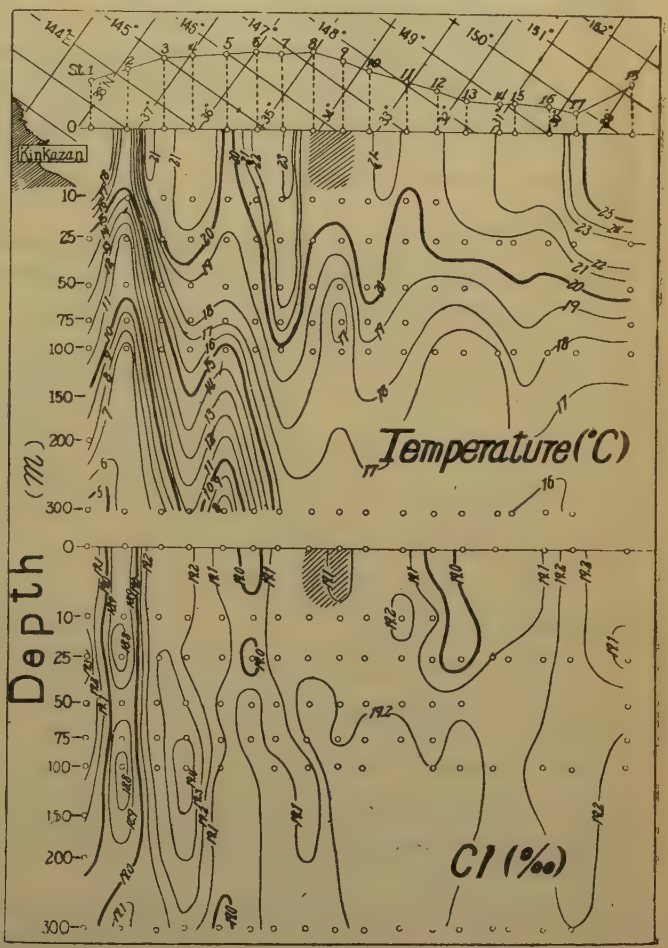
第3圖において20°C前後及び10°C前後の各等温線を中軸にして走る2筋の潮境がそれぞれ大體黒潮前線及び親潮前線に對應する。表面等温線20°Cの南側には、近海では23°C以上，沖合では21°C以上の最高水温帯が20～60浬の幅をもつて150°E附近まで帯状に連なつており、この南側には近海では23°C以下，沖合では21°C以下の外側低温帯が認められる。更にこの南側（ほぼ34°N以南）には22°C以上の暖水が存在するが、これと最高水温帯とは外側低温帯により明確に遮斷されている。第3圖に示された結果は、最高水温帯が東北海區においてもかなり沖合まで存在することを客觀的に裏づけるものである。

次にこの時の下層觀測は第2表に示された各調査船により實施されているが、殆んど黒潮前線



第4圖　100m 層等溫線，1952年6月3日～20日
Fig. 4　Distribution of temperature (°C) at a depth of 100m during June 3–20, 1952.

の北部に限られ、南部には北上丸の SSE に向かう觀測線があるのみである。100m 層の等溫線(第4圖)と表面の平均等溫線(第3圖)とを比較すると、100m の 14°C 前後の等溫線に大體一致して走る黑潮前線の南側に、表面の最高水溫帶が認められる。更に 100m 層で水溫 10°C 以下の內側低溫帶が黑潮前線の北側に約50浬の幅をもつて帶狀にのびており、これはメキシコ



第5圖　金華山南南東の水溫・鹽素量の斷面分布，1952年6月6日～8日，北上丸
斷面の位置は第4圖を參照，斜線部はビンナガマグロ漁場

Fig. 5　Vertical section of temperature (°C) and chlorinity (‰) observed by survey ship *Kitakami-maru* SSE off Kinkazan during June 6–8, 1952. *Hatching* indicates fishing-ground of albacore (*Germo germo*).

潮流の縞状構造（Fuglister, 1951）に見られるものと同様なものであろう。

尙この時期の暖・冷水塊の配置は、第3圖と第4圖とを綜合して作つた海況模式圖（第1報，第2圖）に示されている。

北上丸の SSE に向かう斷面内の水溫分布（第5圖）を見ると、St.7 附近に最高水溫帶が認められ、この南側は St.10 附近まで表面水溫 20°C 台の外側低溫帶となつている。特に最高水溫帶の直ぐ南側つ St.9 附近には、50m から 100m にかけて 17°C 前後の低溫水が認められる。また塩素量の斷面分布（第5圖）を調べると、St.8～9 の 50m 層に 19.20‰ 以上の高塩水があり、この高塩水はより下層に根源をもつていることは圖から明らかである。從つて St.8～9 附近は最高水溫帶の直ぐ南側にある湧昇域であると考えられる。第2圖（上）により，この斷面上のビンナガマグロの漁獲位置を調べると、丁度この St.8～9 附近に集中しており、この場合には漁況と海況との對應關係を求めることができた。

このことについては既に1952年6月13日發行の漁況速報第9號に一部發表した。

水溫・塩素量の斷面分布においては黒潮前線が不明瞭であるが、これはこの斷面の北部が黒潮前線に平行しているからである（第4圖）。また黒潮前線の北側にあたる内側低溫帶においても湧昇があると考えられるが、ここはビンナガマグロの適水溫よりかなり低溫（16°C 前後）であるため漁場とならないのであろう。

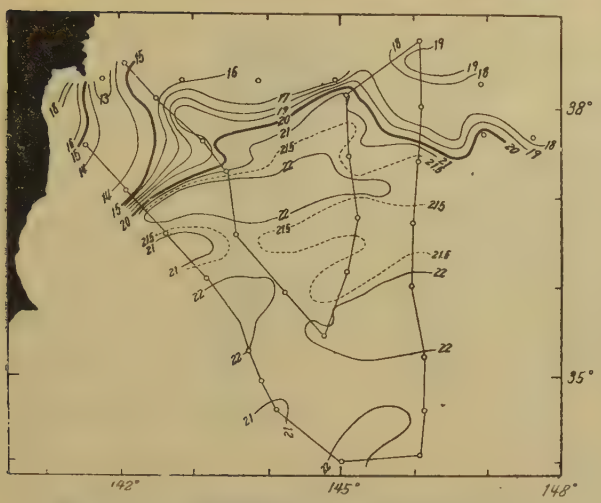
次に第2圖，第3圖，第4圖を綜合して、1952年6月における主要魚群・漁場の分布と海洋條件との對比を試みると、第3表の結果を得る。しかしこのような關係は季節により變化し、例え

第3表　1952年6月における主要漁場の分布と海洋條件

水域	帶狀分布	暖・冷水塊の配置	漁場・魚群
親潮水域			
混合水域	親潮前線	親潮第一分枝 W_H 親潮第二分枝 W_1' W_1 W_2	はえなわ漁場 サンマ：メバチ，クロマグロ，メカジキ，マカジキ，クロカジキ，ネズミザメ，ヨシキリザメ
	（内側低溫帶）	C_1 …… C_2	
黒潮水域	黒潮前線		まきあみ漁場 カツオ（餌付不良）：クロマグロ，メバチ，キハダマグロ，カツオ
	最高水溫帶		不毛水域
	外側低溫帶	C_N	釣漁場：ビンナガマグロ，カツオ，メバチ，キハダマグロ

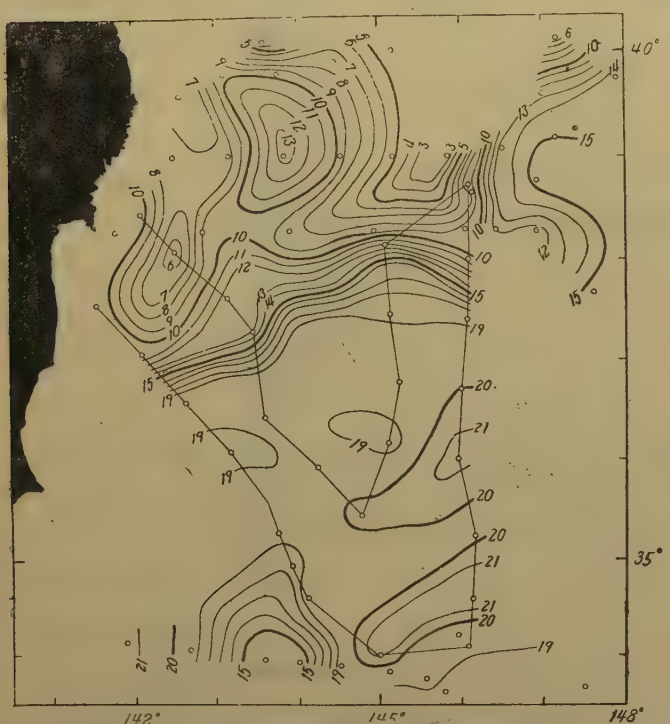
まきあみ漁場は沿岸冷水帶に接する黒潮前線の近くに發達している。はえなわ漁場は黒潮前線附近から親潮前線附近に至る廣い水域にわたつている。

またナガス鯨は主として親潮前線附近に、イワシ鯨とマッコウ鯨は主として混合水域に分布している。



第6圖（a）　表面等溫線，1953年6月24日～7月1日
測點を結ぶ線上では蒼鷹丸により航海中毎時表面水溫が測定された

Fig. 6 (a)　Surface temperature (°C) during June 24–July 1, 1953. On the line connecting oceanogr. sts. (*circles*), surface temperature was observed every hour during voyage by survey ship *Sôyô-maru*.



第6圖（b）　50m 層等溫線，1953年6月20日～7月1日
Fig. 6 (b)　Distribution of temperature (°C) at a depth of 50m during June 20–July 1, 1953.

ば6月以降季節が進むにつれ、カツオ群は主として混合水域の中で漁獲され、また秋季にはサンマ群は主として親潮水域の中で漁獲される。從つて魚群はある時期に前線を乘り超えるのであろう。これは前線に沿うjet の破壞と關係しているものと思われる。

（3）1952年8月の海況

50m, 100m, 200m の各層の等溫線は第1報(第1圖)に示したから、本稿においては圖をはぶく。黑潮前線に相當する潮境及び最高水溫帶は各層において 145°E 附近まで明瞭に現われているが、この沖は缺測不明である。また C_N, W_H, C_1, W_1, W'_1, W_2 などの各水塊は明瞭に認められる。更にはるか沖合の金華山正東 500 浬附近に半徑 10～20 浬の微小冷水塊が存在し、この周圍は比較的に單調な暖水（100m 層で 13～18°C）により廣範圍に覆われているにも拘らず、冷水塊の中心は極めて低溫（100m 層で 6～8°C）を示している。

このような微小冷水塊の發生過程については不明である。

（4）1953年初夏における蒼鷹丸による zigzag 橫斷調査

蒼鷹丸に乘船して2航海にわたり黑潮前線及び最高水溫帶の zigzag 橫斷調査を實施した。第1次調査(6月24日～7月1日)は豫備調査で觀

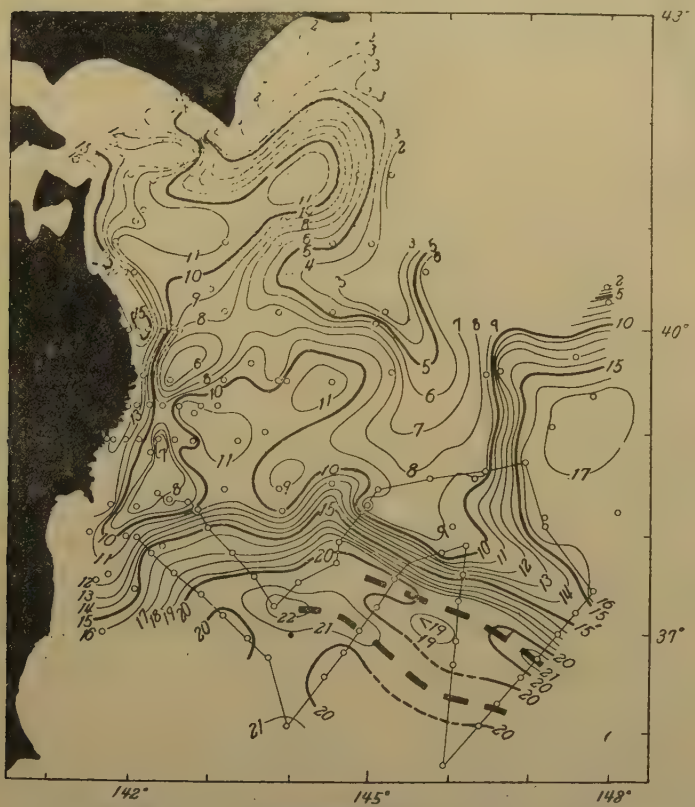
第6圖（c）　100 m 層等溫線，1953年6月21日～7月1日
Fig. 6 (c)　Distribution of temperature (°C) at a depth of 100m diring June 21–July 1, 1953.

測點間隔は40浬前後である。同期の他の觀測資料（第1表）と綜合して描いた等溫線圖〔第6圖(a), (b), (c)〕を見ると、黒潮前線に相當する潮境は各層に認められるが、最高水溫帶は表面以外には認められない。これは下層觀測點が粗すぎて最高水溫帶を檢出できなかつたのに反して、表面水溫は航海中毎時（約8浬間隔で）測定されているためである。第6圖(a)において、表面等溫線 20°C の直ぐ南側にある 21.5°C 以上，あるいは 22°C 以上の部分が最高水溫帶である。また C_N, C_1, W_1 の各水塊は認められるが他は缺測不明である。

次に第2次調査（7月11日～17日）は第1次調査の結果に基いて、最高水溫帶の近傍に調査範圍をしぼり、注意を要する場所では觀測點間隔が20浬以下になるように觀測點をその都度設けた。觀測點は出港前に豫め定めずに、船上において現場の海況を判斷して決定した。また觀測線が黒潮前線及び最高水溫帶になるべく直交するように進路を定め、ほぼ cross-current な A, B, C, D の4斷面圖（第8圖）を得た。更に同期の他船の觀測資料と綜合して描いた水溫・塩素量・σ_t などの水平分布を第7圖 (a), (b), (c), (d), (e), (f)に示す。

先ず水溫分布について見ると、表面から 150m までの各層の等溫線には最高水溫帶が認められる〔第7 圖 (a), (b), (c)；150m，200m 層の等溫線圖略、第8圖斷面分布を參照〕。また斷面 C の100m 層附近では最高水溫帶が不明瞭であるが、これは海況判斷を誤り觀測點間隔を擴げすぎたためと思われる。鉛直斷面内の水溫分布（第 8 圖）を見ると、何れも表面の最高水溫帶と 100m 層附近の最高水溫帶の位置が 30～40 浬程ずれている。今表層のものを**表層最高水溫帶**（the Surface Warm Core）**WC**$_0$，100m 層附近のものを**次層最高水溫帶**（the Subsurface Warm Core）**WC** と呼ぶことにすると、斷面 B より沖では **WC**$_0$ と **WC** は不連續的にくい違い（但し斷面 C では觀測點が離れすぎたので **WC** は不明瞭）、50m 層附近では **WC**$_0$ と

第7圖（a）　表面等溫線，1953年7月11日～16日
測點を結ぶ線上では蒼鷹丸により毎時表面水溫が測定された
Fig. 7 (a)　Surface temperature (°C) during July 11–16, 1953. On the line connecting oceanogr. sts. surface temperature was observed every hour during vayage by *Sôyô-maru*.



第7圖（b）　50m層等溫線，1953年7月1日～18日
Fig. 7 (b)　Distribution of temperature (°C) at a depth of 50m during July 1-18, 1953.

第7圖（c）　100 m 層等溫線，1953年7月1日～18日
Fig. 7 (c)　Distribution of temperature (°C) at a depth of 100m during July 1-18, 1953.

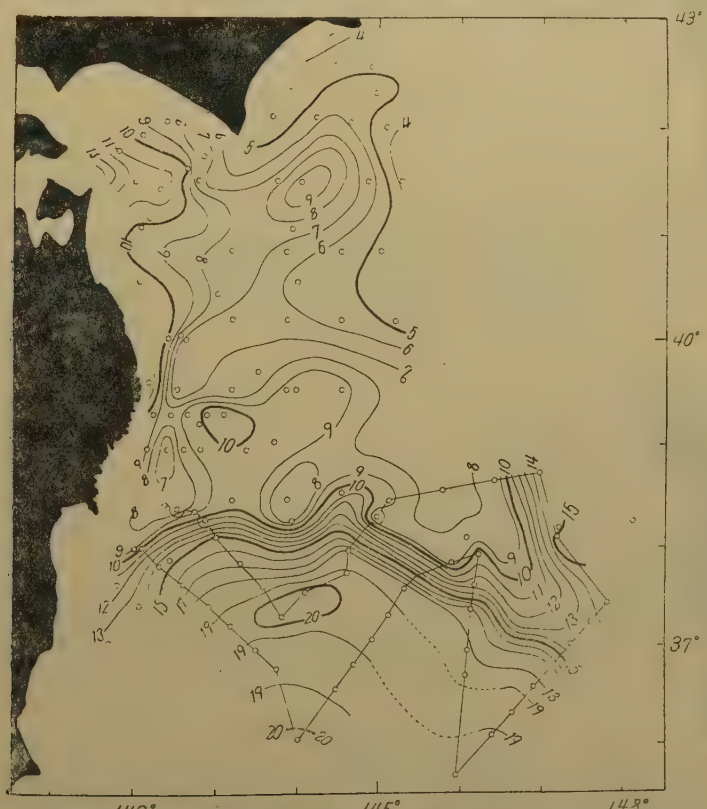
WC の2筋の最高水溫帶〔50m 層等溫線、第7圖（b）の破線〕が認められる。これは σ_t の斷面にも認められる。

一般に最高水溫帶は 200m 以淺の上層に限られて出現するから、0～200m 鉛直平均水溫の水平分布圖を作ると〔第7圖(d)〕、100m 層の等溫線と同形のものが得られ、最高水溫帶は明瞭に認められる。

次に 100m 層の塩素量の水平分布について見ると、最高水溫帶に相當するようなものが認められない〔第7圖(e)〕。しかし σ_t に對しては、**最低比重帶**（the Minimum Density Zone）が水平分布にも斷面分布にも明瞭に認められる。例えば、100m 層〔第7圖(f)〕では σ_t=25.0 以下の輕い部分がこれに相當する。

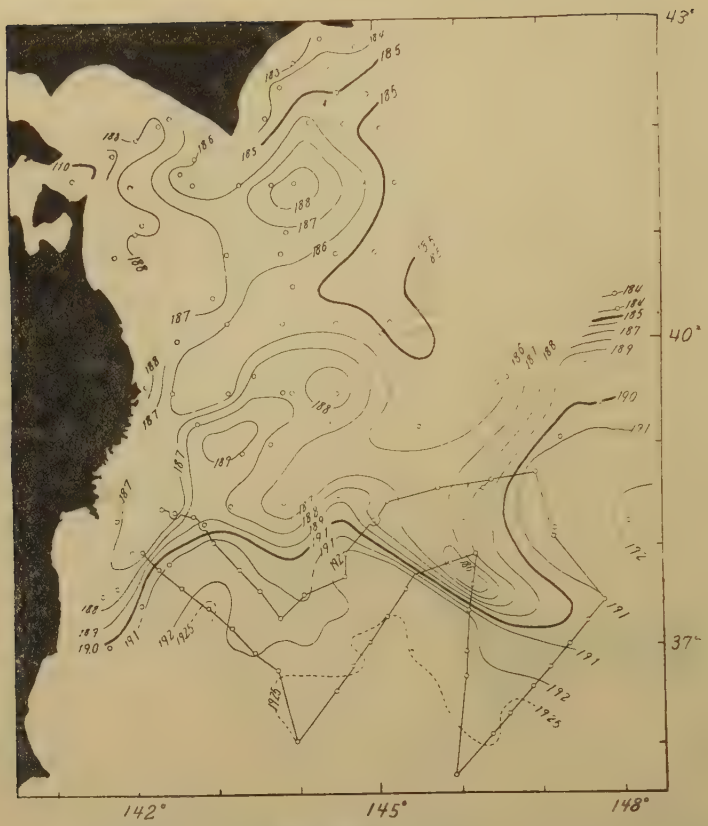
尙本年夏には東北地方に凶冷が起き、8 月の親潮水域の面積が非常に大きかつたが（第1報, p. 34)、これに關連してこの第2次調査の結果も、親潮冷水の南方への強い張出しと、近海における親潮前線の不鮮明を示している。

本期の水塊配置は C_1, W_1, W_2 以外は缺測不明である。津輕暖流の張出しは本期において著しく、その先端は北海道南東部にまで達しているが、これは W_H とは異なるものであろう。次に W_2 は殆んど一様な海水により覆われ、147°E より沖に廣く張出し（圖には沖合を省略したが、少くとも 150°E 附近には達している）、最高水溫帶とは內側低溫帶により明確に遮斷されている。また親潮第2分枝の延長部は黑潮前線の北側に達し、內側低溫帶に連なつて更に沖合へ延びている。從つて內側低溫帶は親潮第2分枝及び黑潮前線に沿う jet stream と密接に關係しているものと考えられる。Sverdrup(1946, p. 718) は東北海區の中淡層水が黑潮系水の下を直接南下せずに、一旦東流すると述べているが、上の事實はこのことを具體的な形で裏づけるものである。尙第1報（p. 11, 16～18行）において、內側低溫帶が shear zone に生ずる parasite eddy の帶狀に連なつたものかも知れないと述べたが、むしろ上記のように考えた方が自然であろう。この**內側低溫帶** (the Inner Cold Zone) に對應して、塩分分布にも**內側低塩(分)帶** (the Inner Low Salinity Zone) が認められることは上記の考えをより強く支持するものである〔第7圖(e)及び第8圖の黑潮前線の直ぐ北側にある塩素量 18.6‰ 前後の最低塩分帶〕。



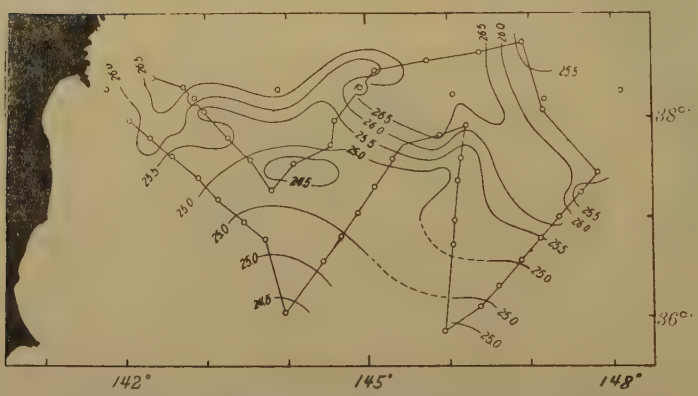
第7圖（d）　0～200 m 鉛直平均水溫分布，1953年7月1日～18日

Fig 7 (d)　Distribution of vertical mean temperature (°C) above 200 m during July 1–18, 1953.



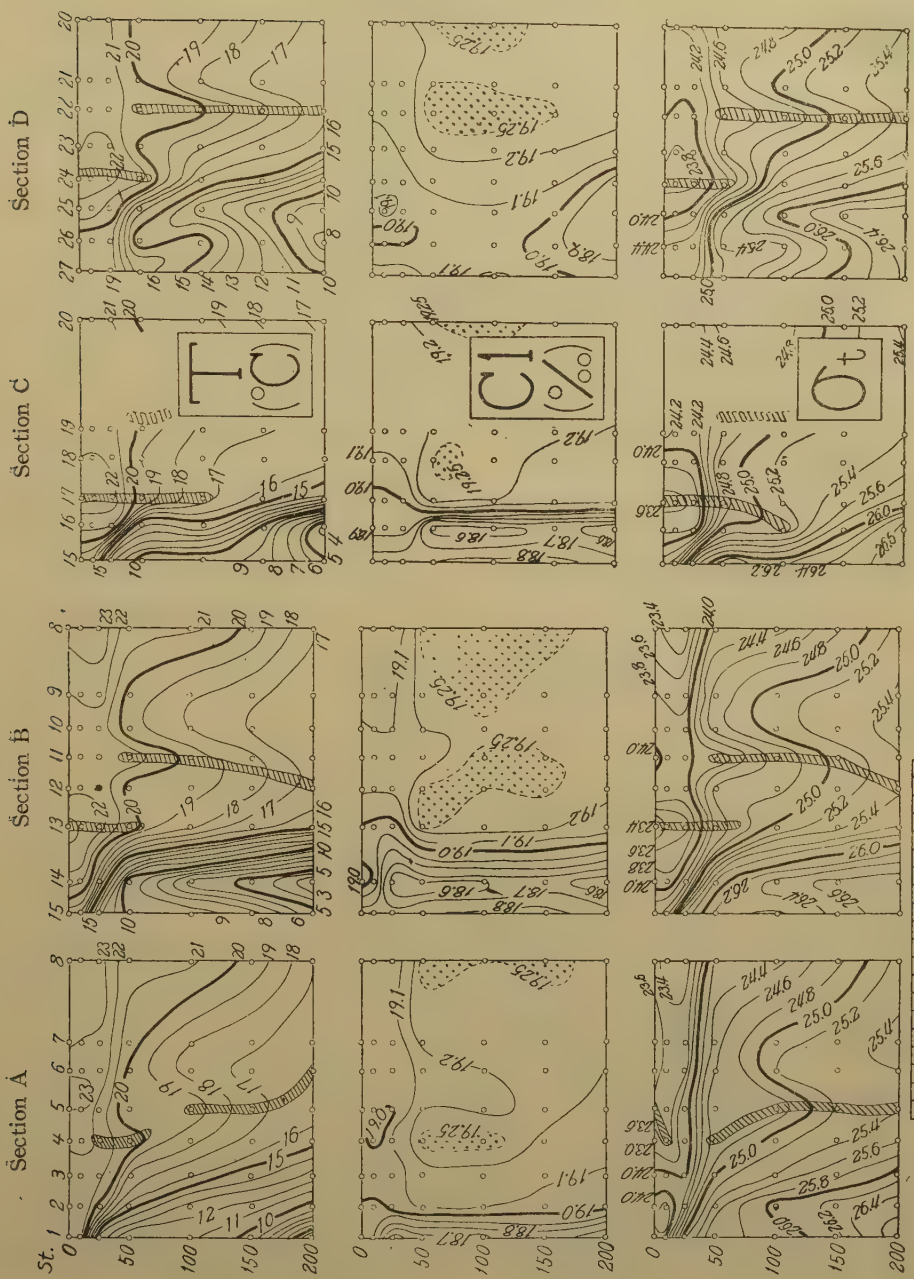
第7圖（e）　100 m 層等塩素量線，1953年7月1日～18日

Fig. 7 (e)　Distribution of chlorinity (‰) at a depth of 100 m during July 1–18, 1953.



第7圖（f）　100 m 層等 σ_t 線，1953年7月11日～17日

Fig. 7 (f)　Distribution of σ_t at a depth of 100 m during July 11–17, 1953.

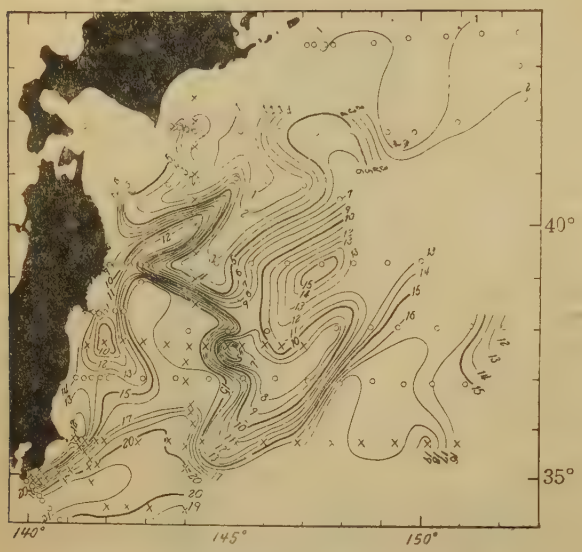


第8圖　黑潮前線を横斷する水温・塩素量・σ_t の斷面分布，1953年7月11日～15日，蒼鷹丸
斷面の位置は第7圖 (a) を參照　斜線部は最高水温帶または最低比重帶の斷面内の位置を示す

Fig. 8 Vertical sections of temperature (°C), chlorinity (‰), and σ_t across the Kuroshio Front, observed by *Sōyō-maru* during June 11–15, 1953. Location of each section is shown in Fig. 7(a). *Hatching* indicates location of the Warm Core or the Minimum Density Zone in each section.

(5)　1954年5月の海況

100m 層の等溫線圖（第9圖）によれば、近海における黑潮前線は一見著しく北偏しているかのように見受けられる。しかし釧路正南（144°20′E）の子午斷面内の溫度分布（天鷹丸觀測、圖省略）を調べると、300m 層以淺に 14°C 以上の暖水が北方に張出し、38°40′～39°00′N の間に著



第9圖　100 m 層等溫線，1954年4月末～5月
○　4月28日～5月17日
×　5月18日～5月24日

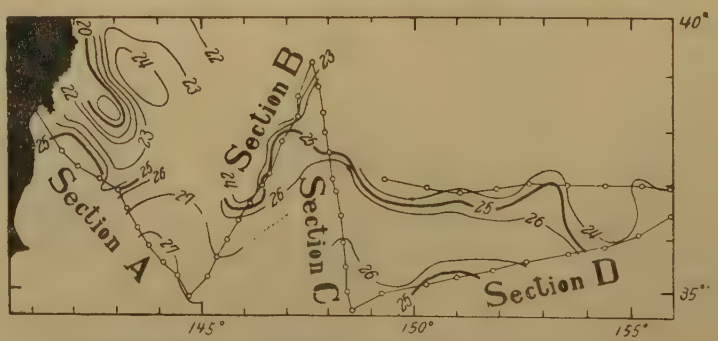
Fig. 9　Distribution of temperature (°C) at a depth of 100m. *Circles* and *crosses* indicate oceanogr. sts. observed during April 28 - May 17 and May 18 - May 24, 1954 respectively.

しい潮境を形成しているが、400m 以深の溫度分布では 36°00′～36°30′N にも著しい潮境が認められ、これが本來の黒潮前線の位置であろう。これは第9圖では丁度 18°C 前後の等溫線を中軸とする潮境に相當する。事實8月（第10圖）には黒潮前線は明瞭にこの位置に存在し、この北の突出暖水は孤立水塊 W_1 となつている。一方沖合では黒潮前線は再び大きく北轉し、その振巾は極めて大きい。從つて本期は**黒潮前線の不安定期**であり、**水塊の南北交換の著しい時期**であると考えられる。また本期の水塊配置について述べると、W_1 は上述のように黒潮水域と連絡を保ち孤立しておらず、W_H も未だ認められない。C_1, W_2 は存在するが、C_N は缺測不明である。

(6)　1954年8月における蒼鷹丸による zigzag 橫斷調査

塩屋崎正東線（37°N）を 160°E まで定線觀測を行つた後、歸途廣範圍な zigzag 橫斷調査を實施した。尙本觀測では全點 BT を使用した。黒潮前線は 100m 層〔第10圖(b)〕ではほぼ 15°C の等溫線を中軸とする潮境に沿つて走り、153°E 附近まで明瞭に認められる。また最高水溫帶は表面〔第10圖(a)〕でも 100m 層でも明瞭に現われている。これはほぼ cross-current な4斷面 A, B, C, D 內の水溫分布（第11圖）にも明らかに認められる。

BT の水溫記錄を深さ 3m 毎に讀みとり、20°C の等溫面の深度分布を描くと〔第10圖(c)〕、この等溫面の深さは



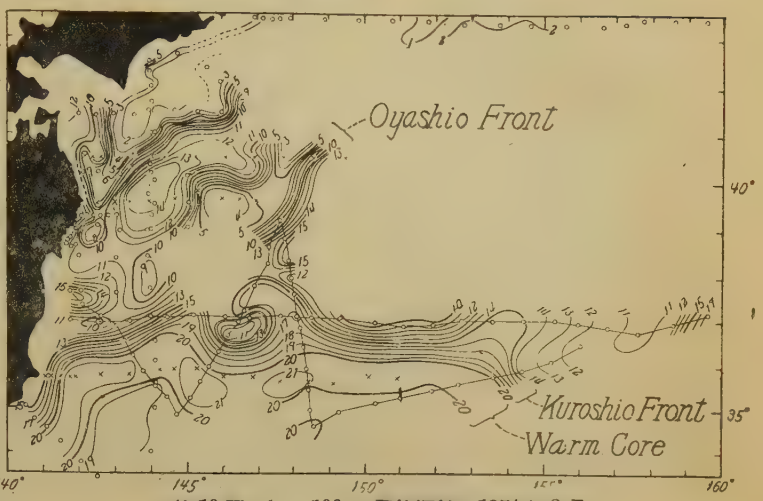
第10圖（a）　表面等溫線，1954年8月5日～15日
測點を結ぶ線上では蒼鷹丸により毎時表面水溫が測定された

Fig. 10 (a)　Surface temperature (°C) during Aug. 5-15, 1954. On the line connecting oceanogr. sts. surface temperature was observed every hour during voyage by *Sôyô-maru*.

混合水域では大部分25m以淺であるが、黑潮前線の所で急に深くなり、最高水溫帶では最も深く100m以深に達している。しかしこの南の外側低溫帶では100m以淺に留まつている。また同じくBTの記錄より第1飛躍層の深度（水溫の鉛直傾度が3mにつき0.4°C以上の値をもつ最も淺い深さ）を定め、この深度の水平分布圖〔第10圖(d)〕を見ると、やはり最高水溫帶の所で最も深く20m以深に達している。特に斷面Bでは最大深を示し60m以深に達している。

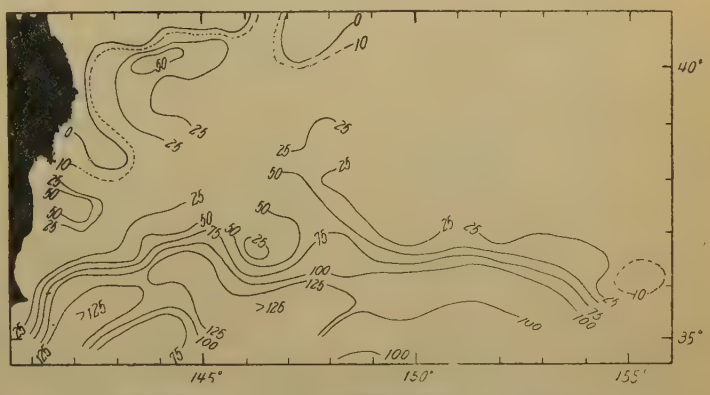
次に同期に實施された水路部第4海洋丸による144°E子午線上のGEK測流結果について調べると、黑潮前線及び親潮前線に相當する2箇所の東向强流部が認められる（極大流速はそれぞれ4.2ノット及び1.6ノット）。この斷面內の水溫分布と、上のように直接に流速分布から求めた2前線の位置とを比較すると〔第12圖，第15圖(p. 39)〕、

1) 黑潮前線・親潮前線の位置は下層水溫の潮境の位置（水平溫度傾度の極大部）に一致する。



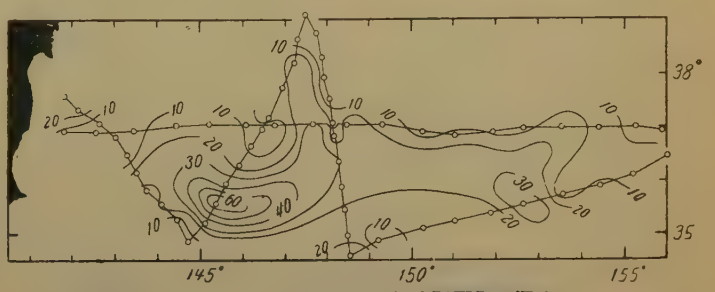
第10圖（b）　100m層等溫線，1954年8月
○　8月2日～17日
×　8月21日～24日

Fig. 10 (b)　Distribution of temperature (°C) at a depth of 100 m. *Circles* and *crosses* indicate oceanogr sts observed during Aug. 2–17 and Aug. 21–24, 1954 respectively.



第10圖（c）　20°Cの等溫面の深さ，1954年8月

Fig. 10 (c)　Topography (m) of the isothermal surface of 20°C in Aug. 1954.



第10圖（d）　BTにより定めた第1飛躍層の深さ，1954年8月2日～14日　蒼鷹丸

Fig. 10 (d)　Topography (m) of the first thermocline by BT records during Aug. 2–14, 1954 (*Sôyô-maru*).

2) これはまた鉛直平均水溫 $\bar{T}^{0}_{600}$ の水平傾度の極大部に良く一致する（第1報では、2前線の位置をこの鉛直平均水溫を用いて推定したが上の結果はこの推定法の正しかつたことを示している）。

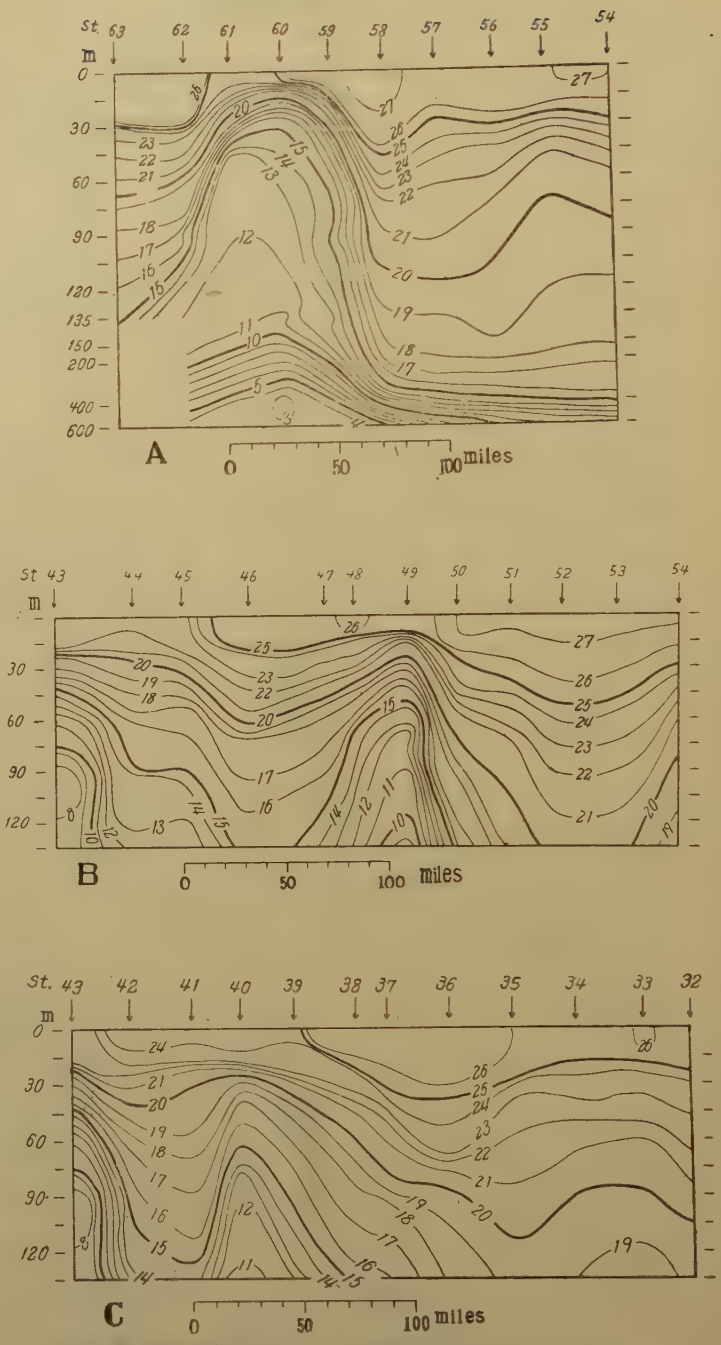
3) 最高水溫帶は黑潮前線（jet の中軸部）の南側にあり、流速分布の transition zone に相當する，

4) 外側低溫帶には必ずしも反流は存在しない。

本期の水塊配置について述べると、C_N は觀測點が粗いために不明瞭であるが、存在していることは確かである。また C_I は小さく、W_I はかなり大きい。W_{II} その他は缺測不明。

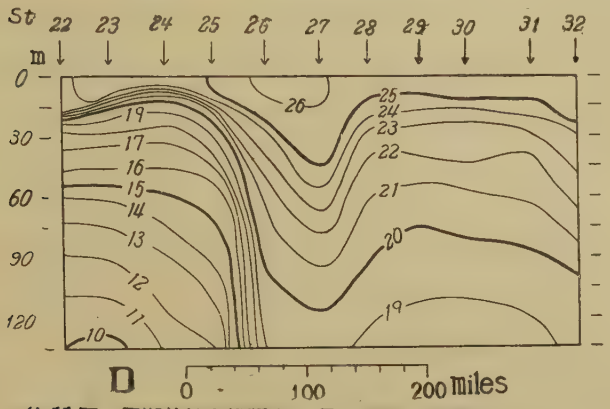
第1報海況模式圖（p. 10）**の訂正**

圖には最高水溫帶（Warm Core）内の北寄りの部分に黑潮前線の位置を示したが、これは黑潮前線の直ぐ南側に最高水溫帶があるように描くべきであつた。



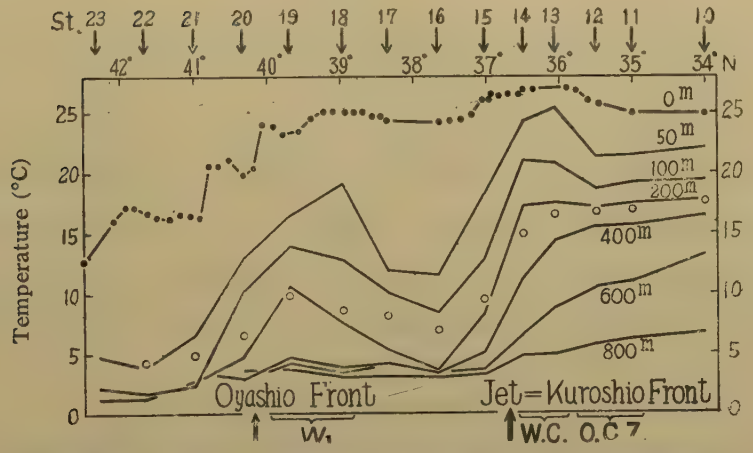
第11圖　圖の題目は次ページにある。

Fig. 11　The *legend* for these figs. is shown in the next page.



第11圖　黑潮前線を横斷する BT 斷面，西側より見る
1954年8月7日～14日，蒼鷹丸
斷面の位置は第10圖（a）を參照

Fig. 11　BT sections (°C) seen from the west across the Kuroshio Front observed by *Sôyô-maru* during Aug. 7–14, 1954. Location of each section is shown in Fig. 10(a).



第12圖　144°E の子午斷面內の水溫分布と GEK による黑潮前線・親潮前線の位置，1954年8月，第4海洋丸
白丸：0～600 m 鉛直平均水溫，*W. C.*：最高水溫帶，*O. C. Z.*：外側低溫帶，W_1：孤立暖水塊

Fig. 12　Temperatnre and locations of the Kuroshio and Oyashio Front determined by GEK in a vertical section along the meridian of 144°E observed by *No. 4 Kaiyô-maru* in Aug. 1954. *Open circle*: vertical mean temp. above 600 m, *W. C.*: warm core, *O. C. Z.*: outer cold zone.

(7)　黑潮前線・最高水溫帶附近の海況についての要約

以上に述べた個々の考察を綜合して、次に黑潮前線・最高水溫帶附近の海況及び漁況の一部について要約して記述する。

1)　黑潮前線・最高水溫帶は少くとも 153°E 附近までは存在している。

2) 黒潮前線の中軸部、即ち jet の最大流速部は、下層（100～600m）水溫の潮境の直上にあり、これはまた 0～600m 鉛直平均水溫の水平傾度の極大部に一致する。

3) 最高水溫帶は一般に黒潮前線の南側の 200m 層以淺に出現するが、表層最高水溫帶と次層（100m 層附近）最高水溫帶の位置がずれ、不連續的に喰い違うこともある。これは σ_t の分布にも認められる。

4) 最高水溫帶は大體四季を通じて存在するが、水塊の南北交換の著しい時期（たとえば5月頃）においては存在せぬこともある。

5) 塩素量に對しては最高水溫帶に相當するものが認められないが、σ_t に對しては最低比重帶が存在する。

6) 夏季にできる水溫の第1飛躍層の深さは黒潮前線の部分で急に深くなり、最高水溫帶では周圍よりも深く、20～60m 深に達する。この南側の外側低溫帶ではその深さは再び淺くなる。

7) 最高水溫帶は流速分布の transition zone に相當する。この南側の外側低溫帶との間には必ずしも、反流が認められない。

8) 內側低溫帶は親潮第2分枝の延長部が黒潮前線に沿う jet により引きずられたような形をホす。

9) 最高水溫帶は不毛水域と考えられ、この部分には漁場の停滯・發達がない。しかし外側低溫帶においては、6 月頃に釣漁場特にビンナガマグロ漁場の發達が著しい。沿岸冷水帶に接する黒潮前線の近くでは、毎年晩春から初夏にかけて、まきあみ漁場が發達する。また沖合の黒潮前線の近傍にカツオ群がしばしば發見されるが餌付不良である。また魚群は一般にある時期に前線を乘り超えると考えられる。これは恐らく jet の破壞と關連しているのであろう。

III. 平行 solenoid 場の法則

第1報においては、前線に沿つて平行 solenoid 場が成立する性質を用いて前線の代表等量線を求めた。平行 solenoid 場については、筆者は速水教授に從つてその特性を考察し、海流の解析におけるその重要性を指摘した（速水・川合, 1950; Hayami, Kawai & Ouchi, 1955）。本稿ではこれをやや展開して、前線の研究に對するその意義を考える。

Helland-Hansen と Ekman (1923) は北大西洋の海洋觀測資料について詳しく考察した結果、適當な條件の下にある海流は次に述べるような著しい特性をもつていることを發見し、Ekman はこれに "das Gesetz der parallelen Solenoidfelder" という名稱を與えた（Defant, 1929）。以下の考察に對して便利な形にこの法則の內容を書きかえてホす。尙以後等量線という言葉は conservative concentration (Sverdrup et al., 1946) に關するもの、即ち等溫線（嚴密には等熱量線）・等塩素量線・等密度線（等比容線）などを示す。

法則 1　同一等壓面（或は水準面）上の各種の等量線と流線とは互いに一致し重なりあう。

法則 2　同一等壓面（或は水準面）上の力學的等高線（或は等壓線）と流線も互いに一致し重なりあう。從つて法則1より各種の等量線にも一致し重なりあう。

法則 3　異つた等壓面（或は水準面）上の流線の方向も、これらを等壓面に垂直な方向（或は鉛直方向）に射影すると、互いに一致し重なりあい、流線の形は等壓面（或は水準面）の深さにより變らない。從つて法則 1, 2 からこのことは各種の等量線及び力學的等高線（或は等壓線）についても成立する。

以後本稿においては、海面及び海面から等しい深さの面を等壓面と考え、これを座標面としてとる。從つて水平・鉛直という言葉はそれぞれ等壓面に平行，垂直という意味に用いる。

これら3法則が嚴密に成立するための條件は

條件 1　海水の物理的狀態は定常である。

條件 2　渦動粘性・渦動擴散の影響はない。

條件 3　上昇流・下降流がなく、各流線は同一の等壓面內に含まれる。

條件 4　流線に沿つて運動 energy は不變である。

從來この法則の成立條件としては、地衡流（geostrophic current）が考えられ、その證明は定性的に行われた。速水・川合（1950）は傾度流（gradient current）においても上の3法則が成立することを數理的に考察した。實際に第1報第1圖及び本報の第 II 節に示した各圖において、50m 層以深では黒潮前線・親潮前線に沿つて、平行 solenoid 場がほぼ成立していることが認められる。また Operation Cabot の結果から見ても、Edgar のような流線の曲率半徑の小さい所においてさえも、表面の流線と 0～200m 鉛直平均水溫の水平分布圖に現われる潮境の方向とは比較的に良く一致している。しかしこの潮境を離れた所では鉛直平均水溫の等溫線と流線の方向とは一般に一致していない（或程度下層になれば、潮境よりはずれた所でも兩者は良く一致すると思われるが、現今の觀測技術では實證できない）。また微細に視た場合に流線に沿つて曲率半徑 R の變化 $\frac{\partial R}{\partial s}$（$s$ は流線弧長）が大きい所では、兩者の方向が良く一致するかどうかは不明である。これらのことは平行 solenoid 場が前線即ち强流帶において近似的に成立することを物語つている。以下においては一般的な定常狀態の方程式から出發し、局所的自然座標を用いてこの法則の成立條件について考察する。

(1) 自然座標系の諸性質

右手基準座標系 (x, y, z) を次のように設ける。近似的に海面及び等壓面の曲率を無視し、海面に沿つて東方に正の x 軸，北方に正の y 軸，海面及び各等壓面に垂直下方に負の z 軸をとる。これらの方向の單位 vector を $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ とする。尙 xy 面は常に等壓面內にある。

右手局所的自然座標系 (s, n, z) を次のように設ける。s は等壓面への流線射影の弧長，n はこの流線射影の直截線の弧長である。海洋中の或一點において、s の正の向き（流れの向き）の單

位 vector を t，これが基準座標系の x 軸より反時計廻りになす角を θ，n の正の向き（t より反時計廻りに直角をなす向き）の單位 vector を n で示せば（第13圖），

$$\left.\begin{aligned} \mathbf{t} &= \mathbf{i}\cos\theta + \mathbf{j}\sin\theta \\ \mathbf{n} &= -\mathbf{i}\sin\theta + \mathbf{j}\cos\theta \\ \mathbf{k} &= \mathbf{t}\times\mathbf{n} \quad . \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots(1)$$

從つて單位 vector の微分の規則は

$$\left.\begin{aligned} &\frac{\partial \mathbf{t}}{\partial s} = \mathbf{n}\frac{\partial\theta}{\partial s} = \mathbf{n}\frac{1}{R}, \quad \frac{\partial \mathbf{t}}{\partial n} = \mathbf{n}\frac{\partial\theta}{\partial n}, \quad \frac{\partial \mathbf{t}}{\partial z} = \mathbf{n}\frac{\partial\theta}{\partial z} \\ &\frac{\partial \mathbf{n}}{\partial s} = -\mathbf{t}\frac{\partial\theta}{\partial s} = -\mathbf{t}\frac{1}{R}, \quad \frac{\partial \mathbf{n}}{\partial n} = -\mathbf{t}\frac{\partial\theta}{\partial n}, \quad \frac{\partial \mathbf{n}}{\partial z} = -\mathbf{t}\frac{\partial\theta}{\partial z} \\ &\frac{\partial \mathbf{k}}{\partial s} = 0 \quad , \quad \frac{\partial \mathbf{k}}{\partial n} = 0 \quad , \quad \frac{\partial \mathbf{k}}{\partial z} = 0 \quad . \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots(2)$$

ここに R は流線射影の曲率半徑を表わし、

$$\frac{1}{R} = \frac{\partial\theta}{\partial s} \qquad \cdots\cdots(2')$$

により定められる正負の符號をもつ量である。

以上のようにして海洋中の各點において局所的に設けられた自然座標系においては、後述するように一般高階微分の順序を交換することはできない。例えば

$$\frac{\partial^2}{\partial z \partial s} \neq \frac{\partial^2}{\partial s \partial z} .$$

また傾度，等壓面に沿つた傾度，實質微分などの各演算子は

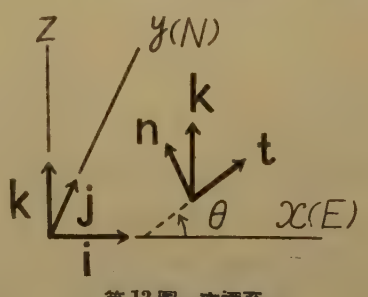
$$\left.\begin{aligned} \mathrm{grad} &= \mathbf{i}\frac{\partial}{\partial x} + \mathbf{j}\frac{\partial}{\partial y} + \mathbf{k}\frac{\partial}{\partial z} = \mathbf{t}\frac{\partial}{\partial s} + \mathbf{n}\frac{\partial}{\partial n} + \mathbf{k}\frac{\partial}{\partial z} \\ \mathrm{grad}_p &= \mathbf{i}\frac{\partial}{\partial x} + \mathbf{j}\frac{\partial}{\partial y} = \mathbf{t}\frac{\partial}{\partial s} + \mathbf{n}\frac{\partial}{\partial n} \\ \frac{D}{Dt} &= \frac{\partial}{\partial t} + (\mathbf{V}\cdot\mathrm{grad}) = \frac{\partial}{\partial t} + u\frac{\partial}{\partial s} + w\frac{\partial}{\partial z} . \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots(3)$$

ここに $\mathbf{V} = \mathbf{t}u + \mathbf{k}w$ は海流の速度 vector である。

更に自然座標系の單位 vector の發散・轉回は、式(1)，(3) により次のように表わし得る。

$$\left.\begin{aligned} \mathrm{div}\ \mathbf{t} &= \frac{\partial\theta}{\partial n} \\ \mathrm{div}\ \mathbf{n} &= -\frac{\partial\theta}{\partial s} \\ \mathrm{rot}\ \mathbf{t} &= -\mathbf{t}\frac{\partial\theta}{\partial z} + \mathbf{k}\frac{\partial\theta}{\partial s} \\ \mathrm{rot}\ \mathbf{n} &= -\mathbf{n}\frac{\partial\theta}{\partial z} + \mathbf{k}\frac{\partial\theta}{\partial n} \\ \mathrm{div}\ \mathbf{k} &= \mathrm{rot}\ \mathbf{k} = 0. \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots(4)$$

但し海面の曲率は無視されている。



第13圖　座標系
Fig. 13　Coordinate system.

この證明は式 (1), (3) により,

$$\text{div } \mathbf{t} = \frac{\partial(\cos\theta)}{\partial x} + \frac{\partial(\sin\theta)}{\partial y} = -\sin\theta\frac{\partial\theta}{\partial x} + \cos\theta\frac{\partial\theta}{\partial y} = (\mathbf{n}\cdot\text{grad}_p\theta) = \frac{\partial\theta}{\partial n}$$

$$\text{rot } \mathbf{t} = \mathbf{i}\left\{-\frac{\partial(\sin\theta)}{\partial z}\right\} + \mathbf{j}\frac{\partial(\cos\theta)}{\partial z} + \mathbf{k}\left\{\frac{\partial(\sin\theta)}{\partial x} - \frac{\partial(\cos\theta)}{\partial y}\right\}$$

$$= -\mathbf{t}\frac{\partial\theta}{\partial z} + \mathbf{k}\,(\mathbf{t}\cdot\text{grad}_p\theta) = -\mathbf{t}\frac{\partial\theta}{\partial z} + \mathbf{k}\frac{\partial\theta}{\partial s}.$$

その他も同様.

また速度 vector の發散・轉回は一般の vector 公式及び式 (3), (4) により

$$\text{div } \mathbf{V} = \text{div } \mathbf{t}u + \text{div } \mathbf{k}w = \frac{\partial u}{\partial s} + u\frac{\partial\theta}{\partial n} + \frac{\partial w}{\partial z}$$

$$\text{rot } \mathbf{V} = \text{rot } \mathbf{t}u + \text{rot } \mathbf{k}w = \mathbf{t}\left(\frac{\partial w}{\partial n} - u\frac{\partial\theta}{\partial z}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

$$+ \mathbf{n}\left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial s}\right) + \mathbf{k}\left(u\frac{\partial\theta}{\partial s} - \frac{\partial u}{\partial n}\right) = \mathbf{t}\,\xi + \mathbf{n}\,\eta + \mathbf{k}\,\zeta.$$

次に 2 階微分の順序交換則は

$$\frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{\partial}{\partial z}\right) = \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial}{\partial n}\right) + \frac{\partial\theta}{\partial z}\frac{\partial}{\partial s}$$

$$\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial}{\partial s}\right) = \frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial}{\partial z}\right) + \frac{\partial\theta}{\partial z}\frac{\partial}{\partial n} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{\partial}{\partial s}\right) = \frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial}{\partial n}\right) + \frac{\partial\theta}{\partial s}\frac{\partial}{\partial s} + \frac{\partial\theta}{\partial n}\frac{\partial}{\partial n}.$$

この證明は ϕ を或 scalar 函數とすれば、

$$\text{rot grad } \phi \equiv 0$$

が如何なる座標系においても成立する性質を用いて、次のようになされる。上式の左邊は式 (3) 及び一般の vector 公式により

$$\text{rot grad } \phi = \text{rot}\left(\mathbf{t}\frac{\partial\phi}{\partial s} + \mathbf{n}\frac{\partial\phi}{\partial n} + \mathbf{k}\frac{\partial\phi}{\partial z}\right)$$

$$= \frac{\partial\phi}{\partial s}\text{rot } \mathbf{t} + \frac{\partial\phi}{\partial n}\text{rot } \mathbf{n} + \frac{\partial\phi}{\partial z}\text{rot } \mathbf{k}$$

$$- \mathbf{t}\times\text{grad}\frac{\partial\phi}{\partial s} - \mathbf{n}\times\text{grad}\frac{\partial\phi}{\partial n} - \mathbf{k}\times\text{grad}\frac{\partial\phi}{\partial z},$$

これは式 (4), (3) により、

$$= \frac{\partial\phi}{\partial s}\left(-\mathbf{t}\frac{\partial\theta}{\partial z} + \mathbf{k}\frac{\partial\theta}{\partial s}\right) + \frac{\partial\phi}{\partial n}\left(-\mathbf{n}\frac{\partial\theta}{\partial z} + \mathbf{k}\frac{\partial\theta}{\partial n}\right) - \mathbf{t}\times\left\{\mathbf{t}\frac{\partial^2\phi}{\partial s^2}\right.$$

$$\left. + \mathbf{n}\frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{\partial\phi}{\partial s}\right) + \mathbf{k}\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial\phi}{\partial s}\right)\right\} - \mathbf{n}\times\left\{\mathbf{t}\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial\phi}{\partial n}\right) + \mathbf{n}\frac{\partial^2\phi}{\partial n^2} + \mathbf{k}\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial\phi}{\partial n}\right)\right\}$$

$$- \mathbf{k}\times\left\{\mathbf{t}\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial\phi}{\partial z}\right) + \mathbf{n}\frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{\partial\phi}{\partial z}\right) + \mathbf{k}\frac{\partial^2\phi}{\partial z^2}\right\}$$

$$= \mathbf{t}\left\{\frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{\partial\phi}{\partial z}\right) - \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial\phi}{\partial n}\right) - \frac{\partial\theta}{\partial z}\frac{\partial\phi}{\partial s}\right\} + \mathbf{n}\left\{\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial\phi}{\partial s}\right) - \frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial\phi}{\partial z}\right) - \frac{\partial\theta}{\partial z}\frac{\partial\phi}{\partial n}\right\}$$

$$+ \mathbf{k}\left\{\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial\phi}{\partial n}\right) - \frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{\partial\phi}{\partial s}\right) + \frac{\partial\theta}{\partial s}\frac{\partial\phi}{\partial s} + \frac{\partial\theta}{\partial n}\frac{\partial\phi}{\partial n}\right\}.$$

$\mathbf{t}$, $\mathbf{n}$, $\mathbf{k}$ 各成分を 0 とおけば式 (6) を得る。

また演算子 Laplacian を自然座標系により示すと、

$$\Delta\phi = \mathrm{div}\,\mathrm{grad}\,\phi = \mathrm{div}\left(\mathbf{t}\frac{\partial\phi}{\partial s} + \mathbf{n}\frac{\partial\phi}{\partial n} + \mathbf{k}\frac{\partial\phi}{\partial z}\right) = \left(\mathbf{t}\cdot\mathrm{grad}\frac{\partial\phi}{\partial s}\right) + \left(\mathbf{n}\cdot\mathrm{grad}\frac{\partial\phi}{\partial n}\right) + \left(\mathbf{k}\cdot\mathrm{grad}\frac{\partial\phi}{\partial z}\right) + \frac{\partial\phi}{\partial s}\mathrm{div}\ \mathbf{t} + \frac{\partial\phi}{\partial n}\mathrm{div}\ \mathbf{n} + \frac{\partial\phi}{\partial z}\mathrm{div}\ \mathbf{k}$$

であるから，式 (3)，(4) より

$$\Delta = \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial s^2} + \frac{\partial^2}{\partial n^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{\partial\theta}{\partial s}\frac{\partial}{\partial n} + \frac{\partial\theta}{\partial n}\frac{\partial}{\partial s}. \qquad \cdots\cdots(7)$$

更に局所的に s と x, n と y の各軸の方向及び向きを一致させると（證明略）、

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial^2}{\partial x^2} &= \frac{\partial^2}{\partial s^2} - \frac{\partial\theta}{\partial s}\frac{\partial}{\partial n}\\ \frac{\partial^2}{\partial y^2} &= \frac{\partial^2}{\partial n^2} + \frac{\partial\theta}{\partial n}\frac{\partial}{\partial s}.\end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots(8)$$

(2) 自然座標系で表わした運動方程式

上記の諸關係を用いて、自然座標系により各種の方程式を表わす。先ず定常狀態における conservative concentration f の方程式は式 (8) を參考にして

$$\left.\begin{aligned}(\mathbf{V}\cdot\mathrm{grad}\,f) &= u\frac{\partial f}{\partial s} + w\frac{\partial f}{\partial z} = u\left|\mathrm{grad}_p f\right|\cos(\varphi-\theta) + w\frac{\partial f}{\partial z}\\ &= A_h'\left(\frac{\partial^2 f}{\partial n^2} + \frac{\partial\theta}{\partial n}\frac{\partial f}{\partial s} + \frac{\partial^2 f}{\partial s^2} - \frac{\partial\theta}{\partial s}\frac{\partial f}{\partial n}\right) + A_z'\frac{\partial^2 f}{\partial z^2},\end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots(9)$$

ここに　A_h': 水平渦動擴散係數（密度 ρ で除したもの）

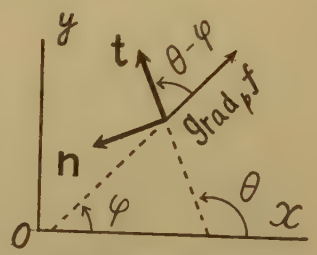
A_z': 鉛直渦動擴散係數（　〃　）

φ: $\mathrm{grad}_p f$ が x 軸となす角（第14圖）

u: 海流の水平成分

w: 海流の鉛直成分

$\mathbf{V} = \mathbf{u} + \mathbf{k}w = \mathbf{t}u + \mathbf{k}w.$



第14圖　等量線と流線の關係
Fig. 14　Relation between the isoline and the stream line.

式 (9) を書直すと

$$\cos(\varphi-\theta) = \frac{A_h'\left(\frac{\partial^2 f}{\partial n^2} + \frac{\partial\theta}{\partial n}\frac{\partial f}{\partial s} + \frac{\partial^2 f}{\partial s^2} - \frac{\partial\theta}{\partial s}\frac{\partial f}{\partial n}\right) + A_z'\frac{\partial^2 f}{\partial z^2} - w\frac{\partial f}{\partial z}}{u\ |\ \mathrm{grad}_p f\ |}. \qquad \cdots\cdots(9')$$

海水は非壓縮性と考えられるから、連續の方程式として、式 (5) の第1式を 0 とおいた

$$\mathrm{div}\,\mathbf{V} = \frac{\partial u}{\partial s} + u\frac{\partial\theta}{\partial n} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \qquad \cdots\cdots(5')$$

が採用される。

定常狀態における運動方程式は

$$\left.\begin{aligned}(\mathbf{V}\cdot\nabla)\,\mathbf{u} &= -\,\mathrm{grad}_p\,\Omega - \mathbf{n}\lambda u - \mathbf{i}\bar{\lambda}w\\ &\quad + A_h\left(\frac{\partial^2\mathbf{u}}{\partial n^2} + \frac{\partial\theta}{\partial n}\frac{\partial\mathbf{u}}{\partial s} + \frac{\partial^2\mathbf{u}}{\partial s^2} - \frac{\partial\theta}{\partial s}\frac{\partial\mathbf{u}}{\partial n}\right) + A_z\frac{\partial^2\mathbf{u}}{\partial z^2}\\ (\mathbf{V}\cdot\nabla)\,w &= -\frac{\partial\Omega}{\partial z} - \alpha\frac{\partial p}{\partial z} + (\mathbf{i}\cdot\mathbf{u})\,\bar{\lambda}\end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots(10)$$

$$+ A_h\left(\frac{\partial^2 w}{\partial n^2}+\frac{\partial\theta}{\partial n}\frac{\partial w}{\partial s}+\frac{\partial^2 w}{\partial s^2}-\frac{\partial\theta}{\partial s}\frac{\partial w}{\partial n}\right)+A_z\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}$$

$$\mathbf{i} = \mathbf{t}\cos\theta - \mathbf{n}\sin\theta,$$

ここに　A_h：水平渦動粘性係數（密度ρで除したもの）

A_z：鉛直渦動粘性係數（　〃　）

Ω：geopotential

p：壓　　力

α：比　　容

$\lambda, \bar{\lambda}$：Coriolis の係數.

運動方程式（10）の左邊即ち inertia term は、式（2），（3）により

$$\begin{aligned}(\mathbf{V}\cdot\nabla)\,\mathbf{u} &= \left(u\frac{\partial}{\partial s}+w\frac{\partial}{\partial z}\right)\mathbf{u}\\ &= \mathbf{t}\left(u\frac{\partial u}{\partial s}+w\frac{\partial u}{\partial z}\right)+\left(u^2\frac{\partial \mathbf{t}}{\partial s}+uw\frac{\partial \mathbf{t}}{\partial z}\right)\\ &= \mathbf{t}\left[\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{u^2}{2}\right)+w\frac{\partial u}{\partial z}\right]+\mathbf{n}\left[\frac{u^2}{R}+uw\frac{\partial\theta}{\partial z}\right]\end{aligned} \qquad \cdots\cdots\cdots(11)$$

となる。R は式（2′）に定められた正負の符號をもつ。また

$$(\mathbf{V}\cdot\nabla)\,w = u\frac{\partial w}{\partial s}+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{w^2}{2}\right). \qquad \cdots\cdots\cdots(12)$$

從つて運動方程式（10）は式（8）を考慮して

$$\begin{aligned}&\mathbf{t}\left[\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{u^2}{2}\right)+w\left(\bar{\lambda}\cos\theta+\frac{\partial u}{\partial z}\right)-A_hE-A_zF\right]\\ &+\mathbf{n}\left[u\left(\lambda+\frac{u}{R}\right)-w\left(\bar{\lambda}\sin\theta-u\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)-A_hG-A_zH\right]\\ &+\mathbf{k}\left[\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{w^2}{2}\right)-u\left(\bar{\lambda}\cos\theta-\frac{\partial w}{\partial s}\right)+\alpha\frac{\partial p}{\partial z}-A_hL-A_zM\right]\\ &+\operatorname{grad}\Omega = 0,\end{aligned} \qquad \cdots\cdots\cdots(13)$$

ここに　$E=\dfrac{\partial^2 u}{\partial s^2}+\dfrac{\partial^2 u}{\partial n^2}-u\left[\left(\dfrac{\partial\theta}{\partial s}\right)^2+\left(\dfrac{\partial\theta}{\partial n}\right)^2\right]+\dfrac{\partial u}{\partial s}\dfrac{\partial\theta}{\partial n}-\dfrac{\partial u}{\partial n}\dfrac{\partial\theta}{\partial s}$

$$F=\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}-u\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)^2$$

$$G=u\left(\frac{\partial^2\theta}{\partial s^2}+\frac{\partial^2\theta}{\partial n^2}\right)+2\left(\frac{\partial u}{\partial s}\frac{\partial\theta}{\partial s}+\frac{\partial u}{\partial n}\frac{\partial\theta}{\partial n}\right)$$

$$H=u\frac{\partial^2\theta}{\partial z^2}+2\frac{\partial u}{\partial z}\frac{\partial\theta}{\partial z}$$

$$L=\frac{\partial^2 w}{\partial s^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial n^2}+\frac{\partial w}{\partial s}\frac{\partial\theta}{\partial n}-\frac{\partial w}{\partial n}\frac{\partial\theta}{\partial s}$$

$$M=\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}.$$

運動方程式（13）の t，n 兩成分はまた

$$\left.\begin{aligned}&\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{u^2}{2}\right)+w\left(\bar{\lambda}\cos\theta+\frac{\partial u}{\partial z}\right)-A_hE-A_zF\\&\quad=-(\mathbf{t}\cdot\operatorname{grad}_p\Omega)=-|\operatorname{grad}_p\Omega|\cos(\psi-\theta)\\&u\left(\lambda+\frac{u}{R}\right)-w\left(\bar{\lambda}\sin\theta-u\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)-A_hG-A_zH\\&\quad=-(\mathbf{n}\cdot\operatorname{grad}_p\Omega)=-|\operatorname{grad}_p\Omega|\sin(\psi-\theta),\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(13')$$

ここに ψ は $\operatorname{grad}_p\Omega$ が x 軸となす角であり、この關係圖は $\varphi\to\psi$, $f\to\Omega$ とすれば第14圖と同様になる。式（13′）の第1式の兩邊を第2式の兩邊により、それぞれ除すると

$$\cot(\psi-\theta)=\frac{\dfrac{\partial}{\partial s}\left(\dfrac{u^2}{2}\right)+w\left(\lambda\cos\theta+\dfrac{\partial u}{\partial z}\right)-A_hE-A_zF}{u\left(\lambda+\dfrac{u}{R}\right)-w\left(\bar{\lambda}\sin\theta-u\dfrac{\partial\theta}{\partial z}\right)-A_hG-A_zH}.\quad\cdots\cdots\cdots(14)$$

また式（5）の第2式により絶對渦度の $\mathbf{t}$, $\mathbf{n}$, $\mathbf{k}$ の各成分はそれぞれ

$$\left.\begin{aligned}X&=\frac{\partial w}{\partial n}-u\frac{\partial\theta}{\partial z}+\bar{\lambda}\sin\theta=\xi+\bar{\lambda}\sin\theta\\Y&=\frac{\partial u}{\partial z}-\frac{\partial w}{\partial s}+\bar{\lambda}\cos\theta=\eta+\bar{\lambda}\cos\theta\\Z&=\frac{u}{R}-\frac{\partial u}{\partial n}+\lambda=\zeta+\lambda\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(15)$$

と表わされるから、運動方程式（13）は

$$\left.\begin{aligned}&\operatorname{grad}\left(\frac{u^2+w^2}{2}+\Omega\right)+\mathbf{t}(wY-A_hE-A_zF)\\&\qquad+\mathbf{n}(uZ-wX-A_hG-A_zH)\\&\qquad+\mathbf{k}\left(\alpha\frac{\partial p}{\partial z}-uY-A_hL-A_zM\right)=0\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(16)$$

となる。これを $\mathbf{t}$, $\mathbf{n}$, $\mathbf{k}$ 各成分に分けると

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{u^2+w^2}{2}+\Omega\right)&=-wY+A_hE+A_zF\\\frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{u^2+w^2}{2}+\Omega\right)&=-uZ+wX+A_hG+A_zH\\\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{u^2+w^2}{2}+\Omega\right)&=-\alpha\frac{\partial p}{\partial z}+uY+A_hL+A_zM\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(16')$$

となる。式（16′）の第1式を n で、第2式を s でそれぞれ微分し兩邊の差をとり、2 階微分順序交換則（6）式及び再び上式（16′）を考慮すると、渦度方程式

$$\frac{\partial\theta}{\partial s}(-wY+A_hE+A_zF)+\frac{\partial\theta}{\partial n}(-uZ+wX+A_hG+A_zH)$$
$$=\frac{\partial}{\partial s}(uZ)-\frac{\partial}{\partial s}(wX)-\frac{\partial}{\partial n}(wY)+A_h\left(\frac{\partial E}{\partial n}-\frac{\partial G}{\partial s}\right)+A_z\left(\frac{\partial F}{\partial n}-\frac{\partial H}{\partial s}\right)$$

を得る。更に連續の方程式（5′）により水平發散は

$$\frac{\partial u}{\partial s}+u\frac{\partial\theta}{\partial n}=-\frac{\partial w}{\partial z}$$

となるから、渦度方程式は

$$\left.\begin{aligned} u\frac{\partial Z}{\partial s}+w\frac{\partial Z}{\partial z} &= w\left(X\frac{\partial\theta}{\partial n}-Y\frac{\partial\theta}{\partial s}\right)+\frac{\partial}{\partial s}(wX)+\frac{\partial}{\partial n}(wY)+\frac{\partial}{\partial z}(wZ)\\ &+A_h\left(E\frac{\partial\theta}{\partial s}+G\frac{\partial\theta}{\partial n}+\frac{\partial G}{\partial s}-\frac{\partial E}{\partial n}\right)\\ &+A_z\left(F\frac{\partial\theta}{\partial s}+H\frac{\partial\theta}{\partial n}+\frac{\partial H}{\partial s}-\frac{\partial F}{\partial n}\right). \end{aligned}\right\}\quad\cdots(17)$$

一方、式（15）に示された絶對渦度は

$$\text{Abs. Vor. }\mathbf{V}=\text{rot}\,(\mathbf{L}+\mathbf{V})=2\boldsymbol{\omega}+\text{rot}\,\mathbf{V}=\mathbf{t}X+\mathbf{n}Y+\mathbf{k}Z,$$

ここに $\mathbf{L}$ は地球に固定した點の線速度，$\boldsymbol{\omega}$ は地球廻轉の角速度 vector である。また一般の vector 公式により

$$\text{div rot}\,(\mathbf{L}+\mathbf{V})\equiv 0.$$

從つて單位 vector の轉回公式（4）及び一般の vector 公式により

$$\frac{\partial X}{\partial s}+\frac{\partial Y}{\partial n}+\frac{\partial Z}{\partial z}+X\frac{\partial\theta}{\partial n}-Y\frac{\partial\theta}{\partial s}\equiv 0$$

となるから、渦度方程式（17）は

$$\left.\begin{aligned} u\frac{\partial Z}{\partial s}+w\frac{\partial Z}{\partial z} &= X\frac{\partial w}{\partial s}+Y\frac{\partial w}{\partial n}+Z\frac{\partial w}{\partial z}\\ &+A_h\left(E\frac{\partial\theta}{\partial s}+G\frac{\partial\theta}{\partial n}+\frac{\partial G}{\partial s}-\frac{\partial E}{\partial n}\right)\\ &+A_z\left(F\frac{\partial\theta}{\partial s}+H\frac{\partial\theta}{\partial n}+\frac{\partial H}{\partial s}-\frac{\partial F}{\partial n}\right). \end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(17')$$

次に運動方程式（13）を z で微分し、單位 vector の微分則（2）式を考慮すると

$$\left.\begin{aligned} &\mathbf{t}\left[\frac{\partial}{\partial z}\left\{\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{u^2}{2}\right)+w\left(\bar{\lambda}\cos\theta+\frac{\partial u}{\partial z}\right)\right\}-A_h\frac{\partial E}{\partial z}-A_z\frac{\partial F}{\partial z}\right.\\ &\left.-\frac{\partial\theta}{\partial z}\left\{u\left(\lambda+\frac{u}{R}\right)-w\left(\bar{\lambda}\sin\theta-u\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)-A_hG-A_zH\right\}\right]\\ &+\mathbf{n}\left[\frac{\partial}{\partial z}\left\{u\left(\lambda+\frac{u}{R}\right)-w\left(\bar{\lambda}\sin\theta-u\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)\right\}-A_h\frac{\partial G}{\partial z}-A_z\frac{\partial H}{\partial z}\right.\\ &\left.+\frac{\partial\theta}{\partial z}\left\{\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{u^2}{2}\right)+w\left(\bar{\lambda}\cos\theta+\frac{\partial u}{\partial z}\right)-A_hE-A_zF\right\}\right]\\ &+\text{grad}_p\frac{\partial\Omega}{\partial z}=0. \end{aligned}\right\}\quad\cdots(18)$$

式（18）の $\mathbf{t}$ 成分をとり、式（13′）の第2式を考慮すると

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial\theta}{\partial z} &= \frac{\dfrac{\partial}{\partial z}\left\{\dfrac{\partial}{\partial s}\left(\dfrac{u^2}{2}\right)+w\left(\bar{\lambda}\cos\theta+\dfrac{\partial u}{\partial z}\right)\right\}-A_h\dfrac{\partial E}{\partial z}-A_z\dfrac{\partial F}{\partial z}+\dfrac{\partial}{\partial s}\left(\dfrac{\partial\Omega}{\partial z}\right)}{u\left(\lambda+\dfrac{u}{R}\right)-w\left(\bar{\lambda}\sin\theta-u\dfrac{\partial\theta}{\partial z}\right)-A_hG-A_zH}\\ &= \frac{\dfrac{\partial}{\partial z}\left\{\dfrac{\partial}{\partial s}\left(\dfrac{u^2}{2}\right)+w\left(\bar{\lambda}\cos\theta+\dfrac{\partial u}{\partial z}\right)\right\}-A_h\dfrac{\partial E}{\partial z}-A_z\dfrac{\partial F}{\partial z}+\dfrac{\partial}{\partial s}\left(\dfrac{\partial\Omega}{\partial z}\right)}{-\,|\,\text{grad}_p\,\Omega\,|\,\sin(\psi-\theta)} \end{aligned}\right\}\quad\cdots(19)$$

となる。更に式（19）の第1式の分子に微分順序交換則（6）式を適用し、絶對渦度の各成分を示した式（15）を考慮すると

$$\frac{\partial\theta}{\partial z}=\frac{\frac{\partial}{\partial s}\left\{\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{u^2+w^2}{2}+\Omega\right)\right\}+\frac{\partial}{\partial z}(wY)-A_h\frac{\partial E}{\partial z}-A_z\frac{\partial F}{\partial z}}{uZ-wX-A_hG-A_zH} \quad \cdots\cdots\cdots(20)$$

となる。これは渦度方程式の一種である。次に式（19）の第2式の分子を式（13′）の第1式により書直すと、

$$\frac{\partial\theta}{\partial z}=\frac{\frac{\partial}{\partial z}\left\{\mid \mathrm{grad}_p\,\Omega\mid\cos(\psi-\theta)\right\}-\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial\Omega}{\partial z}\right)}{\mid \mathrm{grad}_p\,\Omega\mid\sin(\psi-\theta)}$$

であるから、

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial\psi}{\partial z}&=\frac{\frac{\partial}{\partial z}\left\{\mid \mathrm{grad}_p\,\Omega\mid\right\}\cos(\psi-\theta)-\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial\Omega}{\partial z}\right)}{\mid \mathrm{grad}_p\,\Omega\mid\sin(\psi-\theta)}\\&=\frac{\partial}{\partial z}\left\{\log\mid \mathrm{grad}_p\,\Omega\mid\right\}\cot(\psi-\theta)-\frac{\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial\Omega}{\partial z}\right)}{\frac{\partial\Omega}{\partial n}}.\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots(21)$$

（3）定常流の流線に沿つた不變量……平行 solenoid 場の成立條件

（A） Stationary accelerated current

條件 1, 2 を滿足する海流、即ち stationary accelerated current（Proudman, 1953）においては、式（9）により

$$(\mathbf{V}\cdot\mathrm{grad}\,f)=V\frac{\partial f}{\partial\Sigma}=u\frac{\partial f}{\partial s}+w\frac{\partial f}{\partial z}=0, \quad\cdots\cdots\cdots(9'')$$

ここに s は流線の等壓面への射影の弧に沿つて測つた長さであるが、Σ は流線そのものの弧に沿つて測つた長さである。また運動方程式（16′）の第1式に u, 第3式に w を乘じ、その和をとると

$$V\frac{\partial}{\partial\Sigma}\left(\frac{V^2}{2}+\Omega\right)=\left(u\frac{\partial}{\partial s}+w\frac{\partial}{\partial z}\right)\left(\frac{V^2}{2}+\Omega\right)=-\alpha w\frac{\partial p}{\partial z}.$$

一方、式（9′）より海水密度從つて比容が流線に沿つて不變であるから

$$\frac{\partial}{\partial\Sigma}\left(\frac{V^2}{2}+\Omega\right)=-\alpha\frac{w}{V}\frac{\partial p}{\partial z}=-\alpha\frac{\partial z}{\partial\Sigma}\frac{\partial p}{\partial z}=-\alpha\frac{\partial p}{\partial\Sigma}=-\frac{\partial}{\partial\Sigma}(\alpha p)$$

即ち

$$\frac{\partial}{\partial\Sigma}\left(\frac{V^2}{2}+\Omega+\alpha p\right)=0. \quad\cdots\cdots\cdots(22)$$

從つて energy 方程式は、流線に沿つて

$$\frac{V^2}{2}+\Omega+\alpha p=\mathrm{const.}\quad\cdots\cdots\cdots(22')$$

となる。これは Bernoulli の定理にほかならぬ。

以上の考察から stationary accelerated current においては、conservative concentration 及び mechanical energy の總和のおのおのが、流線に沿つて不變となる。しかし絶對渦度については、渦度方程式（17′）より

$$V\frac{\partial Z}{\partial \Sigma}=u\frac{\partial Z}{\partial s}+w\frac{\partial Z}{\partial z}=X\frac{\partial w}{\partial s}+Y\frac{\partial w}{\partial n}+Z\frac{\partial w}{\partial z}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(17'')$$

であるから、若しも w の分布が一樣な部分があるならば、その部分で絶對渦度の鉛直成分 Z は流線に沿つて不變となるが、一般には Z は流線に沿つて變化する。

Conservative concentration が流線 Σ に沿つて不變であるということは、平行 solenoid 場の法則1のより一般的な形であるが、法則1そのものは成立しない。これは式（9″）より f が流線射影 s に沿つて不變とならぬことから明らかである。しかし f の分布が上下に一樣である部分においては、鉛直流があつても平行 solenoid 場の法則1は成立する。たとえば冬季の對流期においては、表面から 100～200m 層にかけて、水溫・塩素量の鉛直傾度は極めて小さく、丁度この場合に相當する。

式（13′）及び式（20）から、stationary accelerated current においては平行 solenoid 場の法則2, 3は成立しない。

(B)　Horizontal stationary accelerated current

條件1, 2, 3 を滿足する海流、即ち horizontal stationary accelerated current においては、式（9″），（22′），（17″）より、流線に沿つて次の3箇の量が不變となる。

Conservative concentration, f .....平行 solenoid 場の法則1

運動 energy と geopotential の總和, $\frac{u^2}{2}+\Omega$.....等壓面上の Bernoulli の定理

絶對渦度の鉛直成分, $Z=\zeta+\lambda$ .....絶對渦度不變の定理

しかしこの場合にも、平行 solneoid 場の法則2及び3は成立しない。このためには更に條件4が必要である。

(C)　傾　度　流

條件 1～4 のすべてを滿足する海流は、運動方程式（13′）より、傾度流（偏向力・遠心力・傾度力の3箇の內部力が釣合う海流）に相當する。この場合には同式（13′）より $\psi-\theta=\pm\frac{\pi}{2}$ となるから、平行 solenoid 場の法則2が成立する。これは傾度流の定義から自明であり、問題は法則3である。式（20）に條件 1～4 を適用すると

$$\frac{\partial\theta}{\partial z}=\frac{\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial\Omega}{\partial z}\right)}{uZ}.$$

一方運動方程式（13）の k 成分に條件 1～4 を適用し、適當な單位（Ω: dynamic meter, p: decibar, z: meter）を用いると

$$\frac{\partial \Omega}{\partial z} = -\alpha \frac{\partial p}{\partial z} = \alpha.$$

これは平行 solenoid 場の法則1より流線に沿つて不變であるから、結局式（20）は

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\frac{\partial \alpha}{\partial s}}{uZ} = 0.$$

更に式（21）からも

$$\frac{\partial \psi}{\partial z} = 0$$

となる。これらは平行 solenoid 場の法則3の成立を意味する。

從つて傾度流においては、絶對渦度不變の定理のみならず、平行 solenoid 場の3法則もすべて成立することになる。

彎曲した一般の流線を微細に視た場合に、部分的には曲率が流線に沿つて不變であり、傾度流と考えられ得るが、流線全體について見ると、曲率變化 $\frac{\partial R}{\partial s}$ が大きい部分もあり、この箇所では傾度流と假定し得る條件が初めから缺けている。

何故なれば運動方程式

$$\frac{u^2}{R} + \lambda u + \frac{\partial \Omega}{\partial n} = 0$$

を s で微分し、條件 4 を考えると

$$-\frac{u^2}{R^2}\frac{\partial R}{\partial s} + \frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial \Omega}{\partial n}\right) = 0 \quad \left(\frac{\partial \lambda}{\partial s} \fallingdotseq 0\right).$$

この第2項は式（6）より

$$\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial \Omega}{\partial n}\right) = \frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{\partial \Omega}{\partial s}\right) - \frac{\partial \theta}{\partial s}\frac{\partial \Omega}{\partial s} - \frac{\partial \theta}{\partial n}\frac{\partial \Omega}{\partial n}$$

となるが、これは條件 4, 連續の方程式（5′），平行 solenoid 場の法則 2 などにより 0 となるから、結局傾度流においては

$$\frac{\partial R}{\partial s} = 0,$$

即ち傾度流の流線は圓弧であることが必要である。

（D）　前線强流帶

一般に前線は潮境或は不連續線と呼ばれるように、物理的諸性質が前線を境界として、不連續的に變化すると考えられている。そして力學的にも前線を一つの境界と見なす取扱い方がある。しかし不連續的ということは相對的な意味にも考えられ、本稿では前線附近においては物理的諸性質が飛躍的に變化するが連續的であると考えて考察を進める。

今定常的な大規模な前線においては

conservative concentration f の水平傾度,　$\mathrm{grad}_p f$

geopotential の水平傾度,　$\mathrm{grad}_p \Omega$

流速の水平成分,　u

が著しく大きい値をもつと考える。この場合に平行 solenoid 場の法則が如何なる形をとるかを、定常狀態の下にある一般的な條件の運動方程式などに戻つて考察する。前節において求められた次の各式

$$\cos(\varphi-\theta) = \frac{A_h\left(\frac{\partial^2 f}{\partial n^2}+\frac{\partial\theta}{\partial n}\frac{\partial f}{\partial s}+\frac{\partial^2 f}{\partial s^2}-\frac{\partial\theta}{\partial s}\frac{\partial f}{\partial n}\right)+A_z\frac{\partial^2 f}{\partial z^2}-w\frac{\partial f}{\partial z}}{u\mid \mathrm{grad}_p f\mid} \quad \cdots\cdots(9')$$

$$\cos(\psi-\theta) = \frac{-\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{u^2}{2}\right)-w\left(\bar{\lambda}\cos\theta+\frac{\partial u}{\partial z}\right)+A_hE+A_zF}{\mid \mathrm{grad}_p\Omega\mid} \quad \cdots\cdots(13')$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial z} = \frac{\frac{\partial}{\partial z}\left\{\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{u^2}{2}\right)+w\left(\bar{\lambda}\cos\theta+\frac{\partial u}{\partial z}\right)\right\}-A_h\frac{\partial E}{\partial z}-A_z\frac{\partial F}{\partial z}+\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial\Omega}{\partial z}\right)}{-\mid \mathrm{grad}_p\Omega\mid \sin(\psi-\theta)} \quad \cdots(19)$$

$$\frac{\partial\psi}{\partial z} = \frac{\frac{\partial}{\partial z}\left\{\mid \mathrm{grad}_p\Omega\mid\right\}\cos(\psi-\theta)-\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial\Omega}{\partial z}\right)}{\mid \mathrm{grad}_p\Omega\mid \sin(\psi-\theta)} \quad \cdots\cdots(21)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial s} = \frac{X\frac{\partial w}{\partial s}+Y\frac{\partial w}{\partial n}+Z\frac{\partial w}{\partial z}-w\frac{\partial Z}{\partial z}+A_h\left(E\frac{\partial\theta}{\partial s}+G\frac{\partial\theta}{\partial n}+\frac{\partial G}{\partial s}-\frac{\partial E}{\partial n}\right)+A_z\left(F\frac{\partial\theta}{\partial s}+H\frac{\partial\theta}{\partial n}+\frac{\partial H}{\partial s}-\frac{\partial F}{\partial n}\right)}{u} \quad \cdots\cdots(17')$$

の右邊の分子は、前線强流帶において他の場所よりもどの程度大きくなるか不明であるが、分母の値の增し方が分子に比べて大きいと考えるのが、從來の觀測結果より見て妥當である。從つて前線强流帶においては、上の各式の左邊の値は小さくなり、

$$\varphi-\theta \fallingdotseq \frac{\pi}{2},\ \psi-\theta \fallingdotseq \frac{\pi}{2},\ \frac{\partial\theta}{\partial z} \fallingdotseq 0,\ \frac{\partial\psi}{\partial z} \fallingdotseq 0,\ \frac{\partial Z}{\partial s} \fallingdotseq 0$$

と考えられ、平行 solenoid 場の3法則及び絶對渦度不變の定理が近似的に成立する。黑潮前線に沿つて平行 solenoid 場が近似的に成立するという觀測事實は、上のようにして說明されるのであろう。しかしこのような解釋は單なる相互關係を示すもので、本質的な因果關係を示すものではない。尙定量的な考察は上記各式右邊の實測値による計算を必要とするが、これは將來にまたねばならない。

IV. 平行 solenoid 場よりの偏倚場……前線强流帶の內部力學

(1) 偏倚場の分離

前節 III に述べたように、强流帶においては近似的に平行 solenoid 場が成立する。今一般の流速場，質量場などを平行 solenoid 場と、その殘餘である偏倚場とに分離すると、强流帶においては後者は前者に比べて可成小さくなる譯である。そして平行 solenoid 場が嚴密に成立する條件は、地衡流（時には傾度流）の條件と全く同一であるから、平行 solenoid 場の流速場は、

いわゆる dynamic calculation により、質量場から求められる。從つて平行 solenoid 場のこの關係を一般場の方程式から差引けば、偏倚場の方程式を得る。

初めに一般場の方程式を次のような右手基準座標系 (x, y, z) を用いて示す。等壓面の曲率を無視して、この面内に xy 平面をとり、z 軸を等壓面に垂直に上向きにとる。更に正の x 軸が東向きの緯度線に對して反時計廻りになす角を β とすれば、定常狀態における一般の運動方程式，連續方程式，conservative concentration の方程式は

$$\left.\begin{aligned}
u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}-\lambda v+\bar{\lambda}w\cos\beta &= -\frac{\partial \Omega}{\partial x}+A_h\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)+A_z\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\\
u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}+\lambda u-\lambda w\sin\beta &= -\frac{\partial \Omega}{\partial y}+A_h\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)+A_z\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\\
u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}-\bar{\lambda}(u\cos\beta-v\sin\beta)+\alpha\frac{\partial p}{\partial z} &\\
= -\frac{\partial \Omega}{\partial z}+A_h\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right)+A_z\frac{\partial^2 w}{\partial z^2} &\\
\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z} &= 0\\
u\frac{\partial f}{\partial x}+v\frac{\partial f}{\partial y}+w\frac{\partial f}{\partial z} &= A_h'\left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 f}{\partial y^2}\right)+A_z'\frac{\partial^2 f}{\partial z^2}.
\end{aligned}\right\}\quad(23)$$

ここに用いた記號は前節と同樣に

u, v, w：x, y, z 方向の流速成分

λ, $\bar{\lambda}$ ： Coriolis の係數

Ω ： geopotential

A_h, A_z：水平及び鉛直渦動粘性係數（密度 ρ で除したもの）

A_h', A_z'：水平及び鉛直渦動擴散係數（　〃　）

α ：比　　容

p ：壓　　力

f ： conservative concentration

基本狀態として平行 solenoid 場を考え、これに關する量を添字（$_0$）で示す。今前線に沿つて基本狀態は不變であると考え、この方向に x 軸をとる。また基本狀態においては前線横斷面内の環流はないと考える。更に前節と同樣に、前線を横斷すると種々の物理量が飛躍的に變化するが不連續的ではないと考えると、基本狀態の方程式は次のように示される。

$$\left.\begin{aligned}
&v_0=0,\quad w_0=0\\
&\frac{\partial u_0}{\partial x}=0,\quad \frac{\partial \Omega_0}{\partial x}=0,\quad \frac{\partial f_0}{\partial x}=0\\
&\lambda u_0+\frac{\partial \Omega_0}{\partial y}=0\\
&\alpha_0\frac{\partial p}{\partial z}+\frac{\partial \Omega_0}{\partial z}=0.
\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(24)$$

最後の2式は平行 solenoid 場流速が dynamic calculation により計算され得ることを示している。

次に基本狀態に對する上の假定に從つて

$$u = u_0 + u', \quad v = v', \quad w = w'$$

$$f = f_0 + f', \quad \alpha = \alpha_0 + \alpha', \quad \Omega = \Omega_0 + \Omega'$$

とおいて一般方程式(23)に代入し、基本狀態の方程式(24)を差引く。ここに肩符(′)は偏倚場に關する量を示す。更に偏倚場に關する2次の積は極めて微小となるから、これを無視すると、

$$\left.\begin{aligned}
&u_0\frac{\partial u'}{\partial x}+\left(\frac{\partial u_0}{\partial y}-\lambda\right)v'+\left(\frac{\partial u_0}{\partial z}+\bar{\lambda}\cos\beta\right)w' = -\frac{\partial\Omega'}{\partial x}+A_h\frac{\partial^2 u_0}{\partial y^2}+A_z\frac{\partial^2 u_0}{\partial z^2}\\
&\lambda u'+u_0\frac{\partial v'}{\partial x}-\bar{\lambda}\sin\beta\, w' = -\frac{\partial\Omega'}{\partial y}\\
&-\bar{\lambda}\cos\beta\, u'+\bar{\lambda}\sin\beta\, v'+u_0\frac{\partial w'}{\partial x}-\bar{\lambda}u_0\cos\beta = -\frac{\partial\Omega'}{\partial z}-\alpha'\frac{\partial p}{\partial z}\\
&\frac{\partial u'}{\partial x}+\frac{\partial v'}{\partial y}+\frac{\partial w'}{\partial z}=0\\
&u_0\frac{\partial f'}{\partial x}+v'\frac{\partial f_0}{\partial y}+w'\frac{\partial f_0}{\partial z} = A_h'\frac{\partial^2 f_0}{\partial y^2}+A_z'\frac{\partial^2 f_0}{\partial z^2}
\end{aligned}\right\} \quad (25)$$

但し Austausch は基本狀態の物理量の分布形によると考えた。これらの式において、u_0, f_0 A_h, A_z, A_h', A_z' を既知量として與えれば、u'. v', w', Ω', f' (α' は f' により定まる) などの 5 箇の偏倚量が決定される。

(2) 黑潮前線橫斷面內の環流

今偏倚場は前線に沿つて（x 方向に）變化するが、その變化量は微小であるとして無視すると、式(25)の第1式及び第5式は

$$\left.\begin{aligned}
-\left(\lambda-\frac{\partial u_0}{\partial y}\right)v'+\left(\bar{\lambda}\cos\beta+\frac{\partial u_0}{\partial z}\right)w' &\fallingdotseq A_h\frac{\partial^2 u_0}{\partial y^2}+A_z\frac{\partial^2 u_0}{\partial z^2}\\
\frac{\partial f_0}{\partial y}v'+\frac{\partial f_0}{\partial z}w' &\fallingdotseq A_h'\frac{\partial^2 f_0}{\partial y^2}+A_z'\frac{\partial^2 f_0}{\partial z^2}.
\end{aligned}\right\} \quad (25')$$

從つてこの2式を聯立的に解けば容易に

$$\left.\begin{aligned}
v' &\fallingdotseq \frac{Y_0\left(A_h'\frac{\partial^2 f_0}{\partial y^2}+A_z'\frac{\partial^2 f_0}{\partial z^2}\right)-\frac{\partial f_0}{\partial z}\left(A_h\frac{\partial^2 u_0}{\partial y^2}+A_z\frac{\partial^2 u_0}{\partial z^2}\right)}{Z_0\frac{\partial f_0}{\partial z}+Y_0\frac{\partial f_0}{\partial y}}\\
w' &\fallingdotseq \frac{Z_0\left(A_h'\frac{\partial^2 f_0}{\partial y^2}+A_z'\frac{\partial^2 f_0}{\partial z^2}\right)+\frac{\partial f_0}{\partial y}\left(A_h\frac{\partial^2 u_0}{\partial y^2}+A_z\frac{\partial^2 u_0}{\partial z^2}\right)}{Z_0\frac{\partial f_0}{\partial z}+Y_0\frac{\partial f_0}{\partial y}}
\end{aligned}\right\} \quad (26)$$

となる。ここに

$$\left.\begin{aligned}
Y_0 &= \bar{\lambda}\cos\beta+\frac{\partial u_0}{\partial z}\\
Z_0 &= \lambda-\frac{\partial u_0}{\partial y}.
\end{aligned}\right\} \quad (26')$$

實地計算上の注意としては、f_0 を f より分離することは困難であるが、$f_0 \fallingdotseq f$ と考えて實測値そのものを f_0 として採用すればよい。また u_0 は比容 α_0 より求めるべきであるが、上と同様に考えて實測の比容を α_0 と考えて、式（24）に從つて dynamic calculation により求めればよい。しかし不規則的な分布が殘る場合には偏倚場と考えて適當に處理する必要がある。また式（25）の連續方程式はこの場合に

$$\frac{\partial v'}{\partial y} + \frac{\partial w'}{\partial z} \fallingdotseq 0$$

となり、偏倚場流速の斷面發散が近似的に 0 となることを必要とするが、これは

$$\frac{\partial u'}{\partial x} \fallingdotseq 0$$

と假定したために生じた附帶的な條件と考えてよいのであろう。

式（26）による實地計算は、以前に野島崎南東の黑潮前線橫斷面について一部試みたが（川合, 1953）、詳細は別の機會に論じたい。

次に最も簡單な場合として表層における黑潮前線橫斷面內の環流について考察する。この場合には前と同樣に偏倚場は前線即ち x 方向に近似的に不變であるという條件のほかに、海面近くにおいては

$$w' \fallingdotseq 0, \quad \frac{\partial w'}{\partial y} \fallingdotseq 0.$$

しかし

$$\frac{\partial w'}{\partial z} \neq 0$$

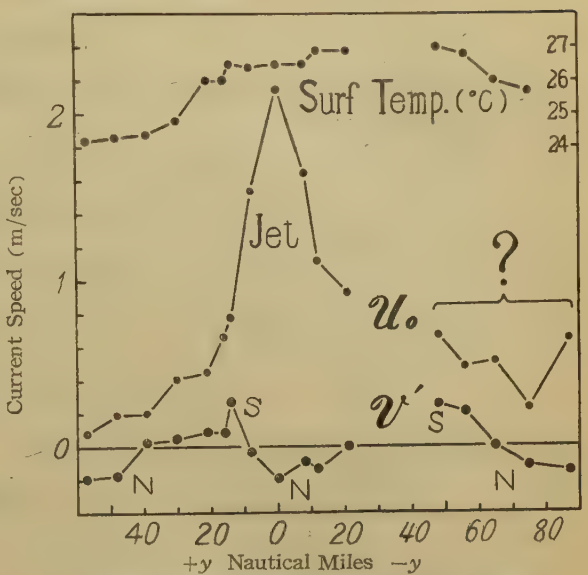
であるとする。更に鉛直混合は橫混合に比べ小さいと假定し無視すると、この場合には式（25）の第1式及び第4式が力學的に意味があると考えられ、

$$\left.\begin{aligned} v' &\fallingdotseq \frac{-A_h \dfrac{\partial^2 u_0}{\partial y^2}}{\lambda - \dfrac{\partial u_0}{\partial y}} = \frac{-A_h \dfrac{\partial^2 u_0}{\partial y^2}}{Z_0}, \qquad Z_0 = \lambda - \frac{\partial u_0}{\partial y} \\ \frac{\partial v'}{\partial y} &+ \frac{\partial w'}{\partial z} \fallingdotseq 0. \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (27)$$

從つて橫斷線上（y 軸上）の基本場即ち平行 solenoid 場流速 u_0 の分布が與えられれば、偏倚場流速 v' 及び $\frac{\partial w'}{\partial z}$ が求められる。

黑潮前線を橫斷する表面流速分布は第 15 圖に示されている（1954 年 8 月水路部第 4 海洋丸による 144°E 子午線上の GEK 觀測）。これを u_0 として採用し、その微分を微差により求めることは大きな誤差を伴うから、第 15 圖に與えられた實測の流速分布に適當な式を當てはめ、これを u_0 と考え、この式から v' を計算することにする。第 15 圖は黑潮前線に沿つて發達した jet の流速分布が左右非對稱であることを示している。また jet の中軸（最强流部）の兩側に 2

箇所の流速分布變曲點が認められる。この2性質は安定した定常的なメキシコ灣流の流速分布（Haurwitz & Panofsky, 1950; von Arx, 1952）にも現れており jet の一般的性質であろう。Worthington (1954) によれば dynamic calculation により求められた jet の流速分布には 2, 3 の極大部が認められるが、これは平行 solenoid 場よりの偏倚場であろう。u_0の流速分布が本質的に如何なる式に從うべきかは、今までのところ不明であるから、上の2性質を滿足する簡單な函數として、Pearson の第 I 型頻度分布曲線



第15圖　黑潮前線橫斷線上の GEK による流速，1954年8月，第4海洋丸

Fig. 15 Current speed by GEK across the Kuroshio Front observed by *No. 4 Kaiyô-maru* in Aug. 1954.

$$u_0 = u_{0\max}\left(1-\frac{y}{a_1}\right)^{m_1}\left(1+\frac{y}{a_2}\right)^{m_2}, \quad \frac{a_1}{a_2}=\frac{m_1}{m_2} \qquad \cdots\cdots(28)$$

を假定しよう。この式で表わされる流速分布の要點は、

jet の中軸	$y=0$	$u_{0\max}$	$\frac{\partial u_0}{\partial y}=0$	———
jet の左端	$y=a_1$	$u_0=0$	$\frac{\partial u_0}{\partial y}=0$	$\frac{\partial^2 u_0}{\partial y^2}=0$
jet の右端	$y=-a_2$	$u_0=0$	$\frac{\partial u_0}{\partial y}=0$	$\frac{\partial^2 u_0}{\partial y^2}=0$
變曲點	$y=\pm\sqrt{\frac{a_1 a_2}{m_1+m_2-1}}$	———	$\frac{\partial u_0}{\partial y}$ min. or max.	$\frac{\partial^2 u_0}{\partial y^2}=0$

式（28）において

$u_{0\max}$ = 200 cm/sec　　a_1 = 50浬　　m_1 = 10
a_2 = 100浬　　m_2 = 20

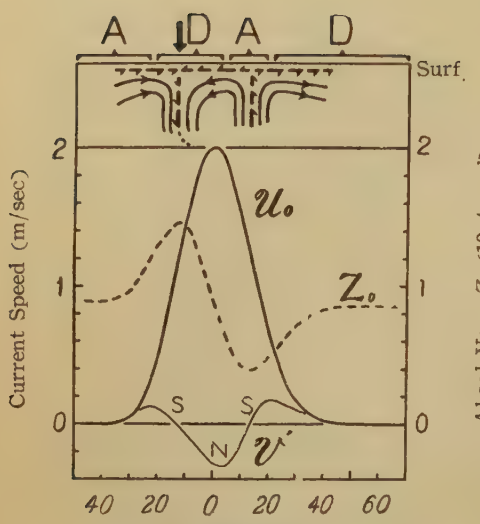
の値を與えれば

$$u_0 = 200\left(1-\frac{y}{50}\right)^{10}\left(1+\frac{y}{100}\right)^{20} \qquad \cdots\cdots(29)$$

となり、y を 10 浬の單位で示せば、u_0 は cm/sec の單位で求められる。また變曲點は

y_i = ± 13.1 浬

の所にあり、このようにして得られた u_0 の計算値（第16圖）は、jet の中軸より約 ±20 浬までの範圍では、實測値（第 15 圖）とよく一致する。しかし jet の兩すそでは計算値と實測値とのくい違いが大きい。特に右すそにおいて差が著しいが、觀測者によれば、この部分では GEK



第16圖　下圖：黒潮前線横断線上の平行 solenoid 場流速（u_0），偏倚場流速（v'），絶對渦度（Z_0）··計算値　上圖：同横断線上の表層における環流模式圖

A：上昇流，*D*：下降流，矢印：潮目

Fig. 16 *Lower*: Calculated current speed of the parallel solenoidal field (u_0) and the deviated field (v') and the absolute vorticity (Z_0) across the Kuroshio Front. *Upper*: Shematic representation of the transversal circulation across the Kuroshio Front in the surface layer. *A*: Ascending, *D*: Descending, *Arrow*: Current rip.

が不調のために觀測値が信頼できぬということであるから、ここでは jet の中軸附近のみを問題とする。

式（29）により與えられた u_0 を式（27）に代入して求められた Z_0, v' の分布を第16圖に示す。ここに水平方向の渦動粘性係數として $A_h = 7 \times 10^7$ c. g. s. の値を採用したが、偏倚流 v' の實測値と計算値とは同じ order の値をもつことから、採用した A_h の order は妥當なものと考えられる。Z_0 はいうまでもなく基本流 u_0 の變曲點で極値をとる。偏倚流 v' はこの2變曲點間の jet 中軸部で基本流 u_0 の右側より左側に向き、2變曲點の各の外側では逆向きとなる。このことは實測の偏倚流 v' の分布にも現われている（第15圖）。また水路部明洋丸が1955年2月及び5月に實施した潮岬正南線・大王崎正南線の GEK 調査の結果を仔細に見ても、やはりこのような偏倚流が認められる（海上保安廳水路部，海洋概報 30 年第1號，海洋速報 30 年第4號）。更に Rossby（1937）の model もこのような transversal な流れを想定している。

次に偏倚流の一つである鉛直流について考える。海面では $w' = 0$ となり、この近くでは

$$\frac{\partial |w'|}{\partial z} < 0$$

であるから連續方程式（27）の第2式より

$$\frac{\partial w'}{\partial z} \fallingdotseq -\frac{\partial v'}{\partial y} \begin{matrix} < \\ > \end{matrix} 0 \quad \text{では} \quad w' \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} 0 \begin{matrix} \text{上昇流} \\ \text{下降流} \end{matrix}$$

となる、從つて先に求めた偏倚流の水平成分 v' と綜合すると、第16圖上部のような環流模式圖が得られる。jet の左側の基本流 u_0 の變曲點では水平收斂が起り、下降流の中心部がある。これは實測の表面水溫分布（第15圖）にも潮目（表層における潮境）として現われており、Operation Cabot の觀測結果にも一致している。また jet の右側の u_0 の變曲點では水平發散が起こり、上昇流の中心部がある。この場合に表面に如何なる現象が現われるかは、今の所不明である。宇田（1940, 1943）は水溫・塩素量・溶存酸素量の分布により、斷面内の環流模式圖を推定したが、この表層部分は上記に求められたものと良く一致している。

以上の考察から黒潮前線に沿う jet の場は、平行 solenoid 場と偏倚場の重疊したものである。

そして前者は後者に比べて極めて大きく、近似的には jet の一般場は平行 solenoid 場と考えられる。また偏倚場は相對的には小さく、wind stress, bottom stress などの擾亂的な外部力の影響も受けるが、方程式（25）に示されているように、平行 solenoid 場流速により、偏向力的慣性力的、粘性力的な、作用を受ける。上述の外部力の影響の一部は平行 solenoid 場流速の pattern を通じて、この最後の力の形でも偏倚場流速に作用する。從つて前線强流帶の偏倚場は、擾亂場の如く全く偶然的なものではなく、可成の必然性と或程度の偶然性をもつたものであろう。

ここに求められた jet の中軸のまわりの環流の向きは、Hansen(1952) の與えた model と逆向きであるが、このくい違いは Hansen の場合では inertia term 及び粘性項を無視しており、また深さ數 km の範圍を問題にしている所から生じたのであろう。

V. 結　語・要　約

本稿においては、最高水溫帶附近の環流についての力學的考察、及び BT の記錄に現れる水溫逆轉層についての考察を行う暇がなかつた。これらは何れも別の機會に論じたい。

次に以上の考察を要約して述べる。

（1）　黑潮前線・最高水溫帶附近の海況を、1950 年から 1954 年夏に至る、代表的觀測結果に基いて synoptic に考察した。また 1952 年 6 月における主要漁場の分布と海洋條件との對比を試みた〔第 II 節第(7)項の要約（p. 23−24）を參照〕。

（2）　局所的自然座標を導入して、定常狀態における一般的な海流の方程式を求め、平行 solenoid 場の法則, Bernoulli の定理, 絕對渦度不變の定理などの成立條件について考察した。また前線强流帶においてこれら諸定理が成立する譯を考えてみた。

（3）　前線强流帶においては近似的に平行 solenoid 場が成立するという觀測事實に基いて、一般場を基本場である平行 solenoid 場と、それよりの偏倚場に分離し、前線强流帶横斷面內の環流は偏倚場流として平行 solenoid 場より導き得ることを示した。實際の計算は黑潮前線に沿う jet の中軸部表層のみについて實施した。この結果は定常的な jet 中軸の直ぐ左手に收斂下降流、直ぐ右手に發散上昇流, jet の中軸では右手から左手に向かう偏倚流, jet の中軸を離れた所ではこの逆向きの偏倚流があることを示し、實測値とも大体良く一致する。　（1955年 8 月）

參　考　文　獻

Defant, A. (1929). Dynamische Ozeanographie. Einführung in die Geophysik III. Berlin

Dietrich, G. (1937). Über Bewegung und Herkunft des Golfstromwassers. Berlin Universität, Institut f. Meereskunde Veröff. N. F. A. Geog. naturwiss. Reihe (33)

Ekman, v. w. (1923). Über Horizontalzirkulation bei winderzeugten Meeresströmungen. Arkiv f. Mat. Astr. o. fys. **17** (26)

Fuglister, F. C. (1951). Multiple currents in the Gulf Stream System. Tellus **3** (4)

Fuglister, F.C. & Worthington, L.V. (1951). Some results of a multiple ship survey of the Gulf Stream System. Tellus **3** (1)

Hansen, W. (1952). Einige Bemerkungen zum Golfstromproblem. Deutsch. Hydrogr. Z. **5** (2)

Haurwitz, B. & Panofsky, A. (1950). Stability and meandering of the Gulf Stream System. Trans. Amer. Geophys. Un. **31** (5)

速水頌一郎・川合英夫 (1950). Helland-Hansen Ekman の定理について. 日本海洋學會年會 (1950年4月, 東京) にて講演

Hayami, S., Kawai, H. & Ouchi, M. (1955). On the theorem of Helland-Hansen and Ekman and some of its applications. Records Ocean. Works Japan N.S. **2** (2)

川合英夫 (1953). Warm Core と漁場との關係. 日本海洋學會年會 (1953年4月東京) にて講演

——— (1955). 東北海區における極前線帶とその變動について (第1報). 東北水研報告 (4)

Masuzawa, Jōtarō (1955). Preliminary report on the Kuroshio in the eastern sea of Japan. Records Ocean. Works Japan N.S. **2** (1)

Proudman, J. (1953). Dynamical Oceanography. London

Rossby, C.-G. (1937). On the mutual adjustment of pressure and velocity distributions in certain simple current systems. J. Mar. Res. **1** (1)

Sverdrup, H.U. et al. (1946). The Oceans : their physics, chemistry and general biology. New York

宇田道隆 (1935). 昭和8年盛夏に於ける北太平洋の海況. 水試報告 (6)

——— (1940). 近年本州南海黑潮流域に於ける海況の異狀と漁況との關係. 水試報告 (10)

——— (1943). 潮境の構造に就て. 海洋學會誌 **2** (4)

von Arx, W.S. (1952). Notes on the surface velocity profile and horizontal shear across the width of the Gulf Stream. Tellus **4** (3)

Worthington, L.V. (1954). Three detailed cross-sections of the Gulf Stream System. Tellus **6** (2)

日本近海のカツオの卵巣について※

八　百　正　和

ON THE OVARIES OF THE SKIPJACK, *KATSUWONUS PELAMIS* (LINNAEUS), CAPTURED IN THE FISHING GROUNDS ALONG THE JAPANESE COAST.

By

Masakazu YAO

TRANSLATION IN REPRINT FILE

It is said that the skipjack, *Katsuwonus pelamis* (LINNAEUS), spawns in the tropical sea area throughout the year. The skipjack captured in the fishing grounds along the Japanese coast belongs mostly to the migration group, but there are some other groups, especially in the southern sea area of Kyūshū, which have heavy gonads of over 100 grams. The data of the gonad weights and body lengths were collected from 1951 to 1953 to know about the maturity and spawning of the skipjack.

The results obtained are as follows;

1. The gonads of the skipjack in the southern sea area of Kyūshū ripen as those in the tropical sea area.
2. It is quite within the bounds of possibility that the skipjack spawn in the southern sea area of Kyūshū as well as in the sea area near the Bonin Islands, but the spawning hardly takes place along the pacific coast of Japan.
3. The northern limit of the spawning grounds of the skipjack in the southern sea area of Kyūshū seems to be at 29°N latitude.

カツオの産卵については多くの研究がなされているが、著者の知見では未だに纏つたものがない。唯漠然と南方水域で産卵するものとされている。事實、南方水域では可成りのカツオの稚魚・幼魚が發見されているし、又漁獲されたカツオの卵巣を調べてみると非常に成熟の程度が良く、産卵直前と思われる個体が多いと云われている。然し全体としてみると、同一期間内でも成熟の狀態が個体によつて相當に異り、季節的にはそのような狀態が変らない點から、定つた産卵期と云う期間はなく、一年中産卵している模様である。日本近海に來游するカツオについては、中村*が紀州で6月から7月、鹿兒島で6月から9月が産卵期であると述べている。矢部(1954)は1947年夏から翌年12月迄に宮崎縣油津港に水揚されたカツオを調べた結果、透明熟卵のかなりまじつた卵巣を多數觀察し、又産卵後と思われる卵巣も得た事から、宮古島近海では産卵が行われていると推定している。

本所でカツオ資源の研究が始められると共に、その一部として、カツオの生殖巣に關する資料

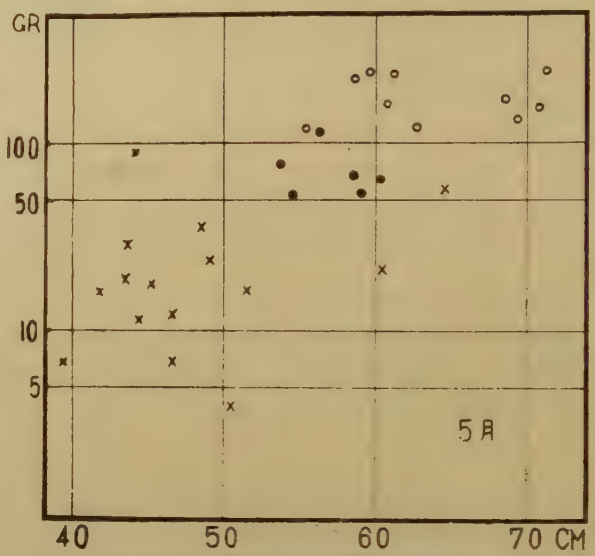
※　東北海區水産研究所業績　第63號

* 末廣泰雄 1951・魚類學 p. 94 より

も集められた。それらを取纏めた結果、日本近海の一部でも産卵が行われていると推定されるので、ここに報告する。尙本報告には卵巣の記錄だけを使用して、精巣の記錄を使用しなかつたが、その重量が餘り卵巣の重量と違いがないので、卵巣の熟度を調べることによつて、全体の熟度を推定しても大過はないと考えられる。

材　　料

材料は、1951～1953年の間、鹿兒島縣枕崎・靜岡縣燒津・清水・宮城縣塩釜・女川・氣仙沼の各港に水揚されたカツオを買取つた罐詰工場・カツオ節製造工場等で集められたものである。体長は40～60cmの範圍のものが大部分で、採集は任意に行われたが、大略の傾向を得るには充分と思われる。採集の時には漁場・漁獲月日・体長・体重・性別・生殖腺重量その他が調査測定された。1953年には德島縣水産試驗場の協力により、四國沿岸の資料が得られた。ここに同水試の協力に感謝する。



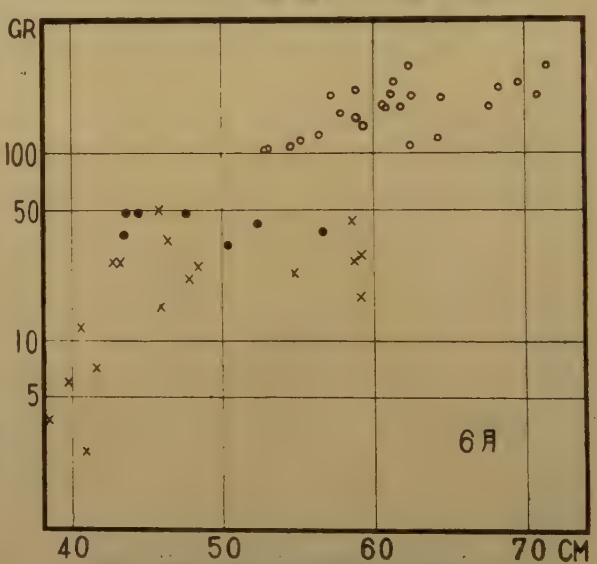
第1の1圖　1951年薩南海區の卵巣熟度
（○熟度A　●熟度B　×熟度C）
（縦　軸……卵巣重量
横　軸……體　　長）

結果及び考察

日本近海に來游するカツオは形態，推定される迴游コース，成長の傾向からみて一系統に屬するものでなく、幾つかの系統に別れている。又漁場も薩南海區・伊豆・小笠原海區及東北海區と大別される。便宜上漁場別に考察を進めることにする。

1)　卵巣の熟度について

東北海區で漁獲されるカツオの生殖巣を調査してみると、重量も輕く、成熟の程度も非常に遲れており、肉眼では雌雄の區別をつけ難い個体が多い。然し薩南海區・小笠原海區のカツオでは重量も大きくなり、卵粒の形成も或程度見られて、



第1の2圖　1951年薩南海區の卵巣熟度
（○熟度A　●熟度B　×熟度C）
（縦　軸……卵巣重量
横　軸……體　　長）

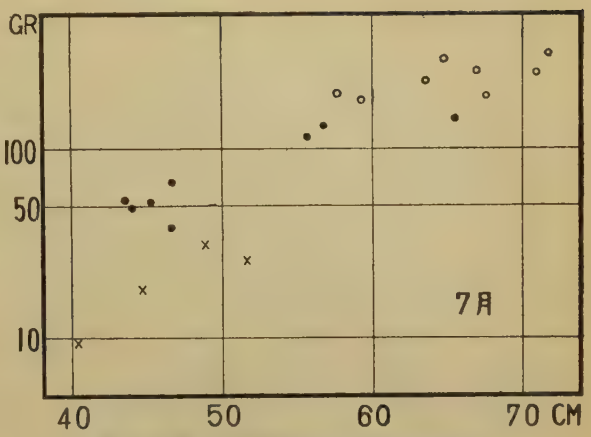
成熟の段階が區分が出來る。

1951年枕崎で調査された薩南海區の資料には、外觀から見た生殖巣の熟度が記されている（第1圖）。この場合、卵巣の熟度として次の3段階に分けている。

熟　度 A　卵巣は黃色が强く、卵粒は分離している。

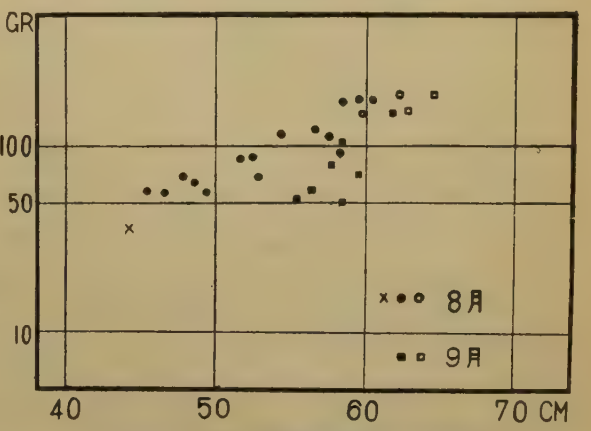
熟　度 B　卵巣は黃色味を帶び、卵粒の分離は不完全である。

熟　度 C　卵巣は白つぽく、卵粒の形成は(ママ)不明瞭である。



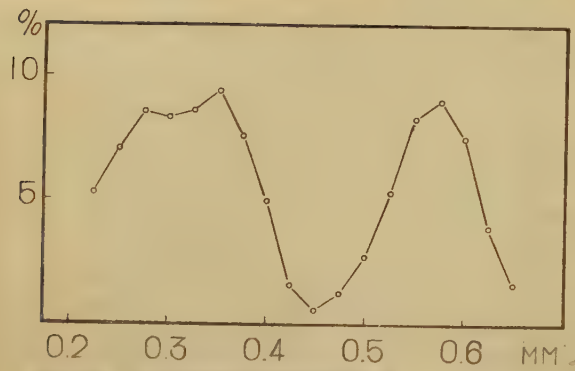
第1の3圖　1951年薩南海區の卵巣熟度
（○熟度 A　●熟度 B　×熟度 C）
（縱　軸……卵巣重量
横　軸……體　長）

圖で見ると、熟度が A の卵巣重量はすべて 100g より大きく、熟度 C は 50g 以下で、B はその間にある。月別に見ると5月・6月に熟度 A に達する個体が最も多く獲られている。7月になると、熟度 A に達している個体の中で最も小さいものでも、6 月のときよりも体長も大きく、卵巣も重くなつている。今迄の資料では、熟度Aの卵巣を持つていた最小のカツオは、6月に獲れた体長 53cm のカツオで、その卵巣重量は 100g であつた。又卵巣重量は、6月・7月に最大となり、大きいものは 300g を超え、1952年には体長 75cm，卵巣重量 476g のカツオが漁獲された。松井（1942）がパラオ近海で採集したカツオの卵巣重量で最大のものは 300g（体重の最大は 8 kg，体長に推定すると大体 75cm）であるが、薩南海區でも 300 gを超える卵巣重量を持つカツオが相當多く漁獲されている。又 6 月に薩南海區で漁獲されたカツオの中から、熟度 A に屬する卵巣の卵徑頻度分布を調べた所、モードは 0.575mm と 0.350mm にあつた（第2圖）。* 矢部は同海區のカツオから卵徑 0.80～1.17mm，平均 1.00mm を得ており、Marr（1948）はビキニ近海で漁獲されたカツオの中から、充分に



第1の4圖　1951年薩南海區の卵巣熟度
（○熟度 A　●熟度 B　×熟度 C）
（縱　軸……卵巣重量
横　軸……體　長）

* 卵徑の測定は F. N. Clark（1934）の方法に從つた。カツオの卵は矢部（1954）述べている様に球形であり、ミクロメーターを用いて、0.025mm 單位で測定した。左右の卵巣，卵巣の前部・中部・後部で有意の差が認められないので、中央部の部分を扇形に切取り、測定を行つた。又 0.2mm より小さい卵は測定しなかつた。



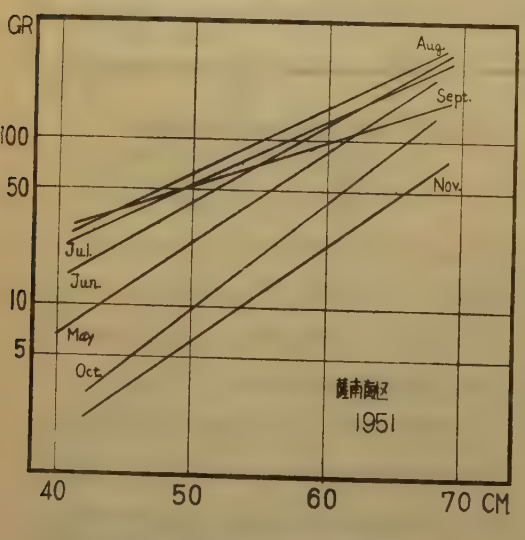
第2圖　カツオ卵巢卵の卵徑頻度分布
熟度A，1947年6月2日 26–05N 126–25E で漁獲
体長 58.8cm　体重4.88kg　卵巢重量 213.8g

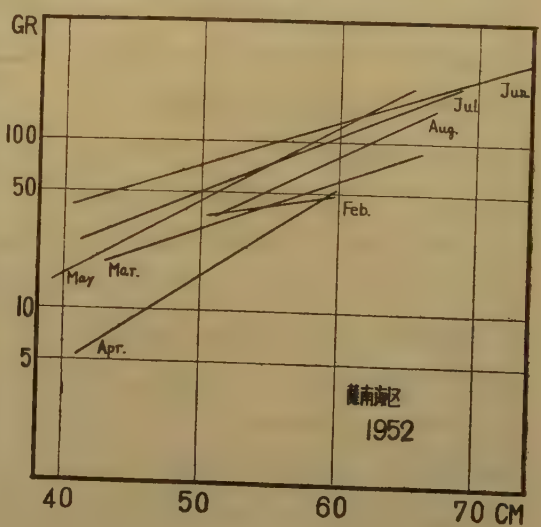
成熟していると認められる個体からモード 0.53mm と 0.35mm の卵徑頻度分布を得ている。これらは共に資料が少いので、どちらが成熟の進行している狀態にあるのか決定しかねるが、Marr の ripe と薩南海區の熟度Aとは同程度の成熟としても大きな間違いはないと考えられる。

2）卵巢重量の変化について

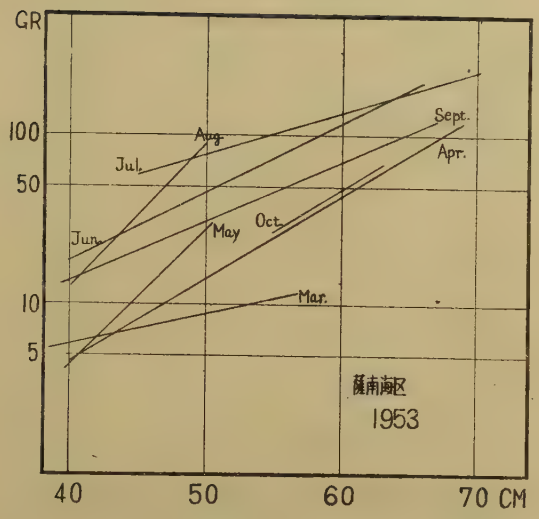
卵巢重量は漁場により、季節により、又魚体の大小により相當の差異が見られる。圖の縱軸に卵巢重量の對數値、横軸に体長の値をとると大略直線上に分布するので、これを用いて変化を調べた（第3圖）。

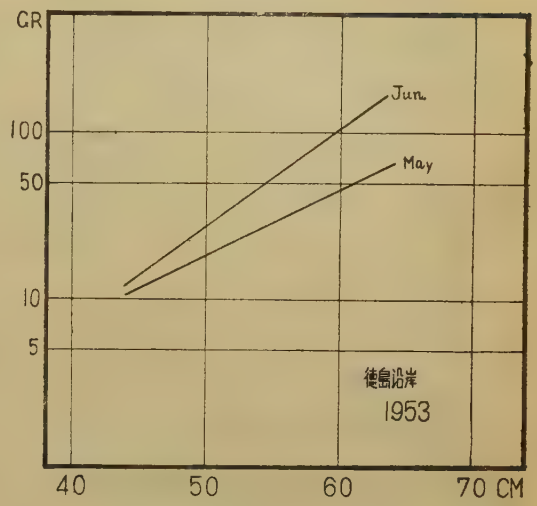
一般に卵巢重量は、春から夏に增大する傾向が見られるが、薩南海區・小笠原海區では夏が過ぎる頃から減少する。即ち薩南海區では、1951 年には 5 月から 6 月にかけて增加し、7 月・8 月には大体同じ重さを保つていたが、9 月に入つて減少し、10 月・11 月には更に大きく減少している。1952年には 4 月が 2 月・3 月より低い値を示しているが、これは 2 月・3 月が漁期の始めで資料も少く、漁場も比較的南であるための偏りと考えられる。この年には9月以降の資料が得られていないが、8月に早くも減少の傾向が見られる。1953年には9月・10月に減少している。体長別に卵巢重量の変化を見ると（第4圖）、1951 年には体長 55cm 級* より大きい個体

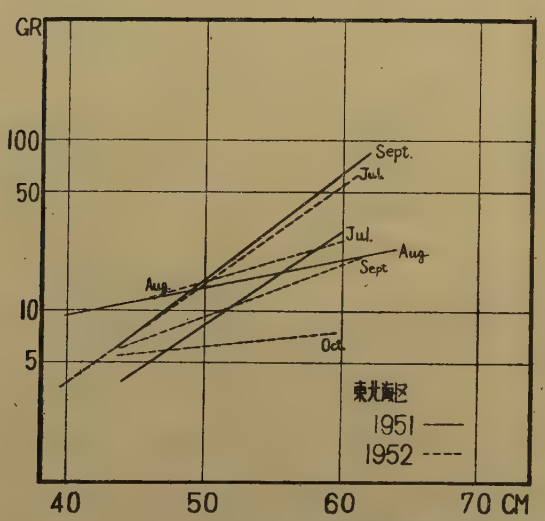


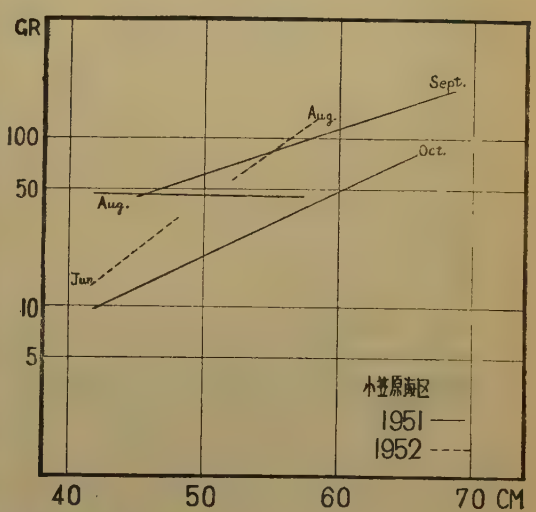


* 級の分け方は体長を 5cm 毎に區切りその中央値で示した。即ち 55cm 級とは体長 52.6cm～57.5cm の範圍のものである。卵巢重量はその區間に屬する個体の平均を示した。



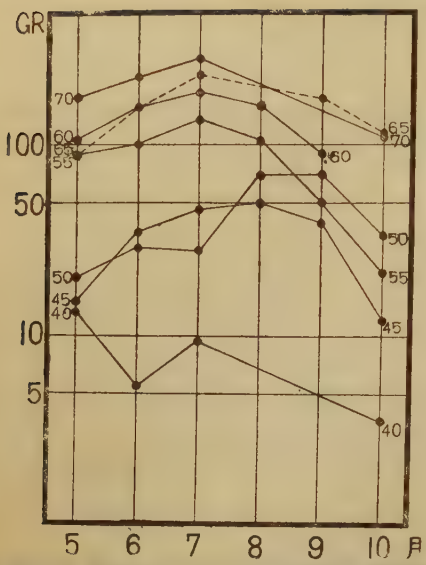




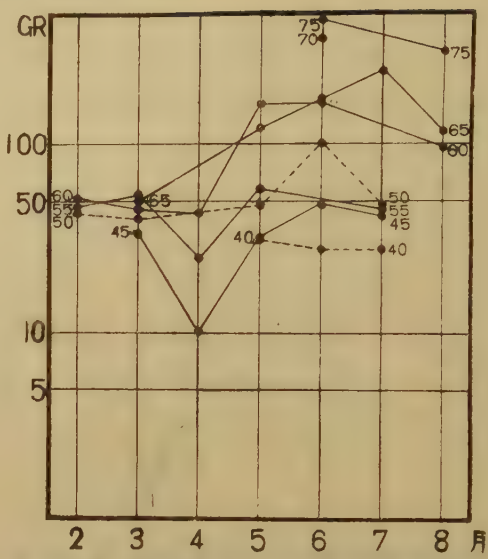


第3圖 体長に對する卵巣重量の回歸

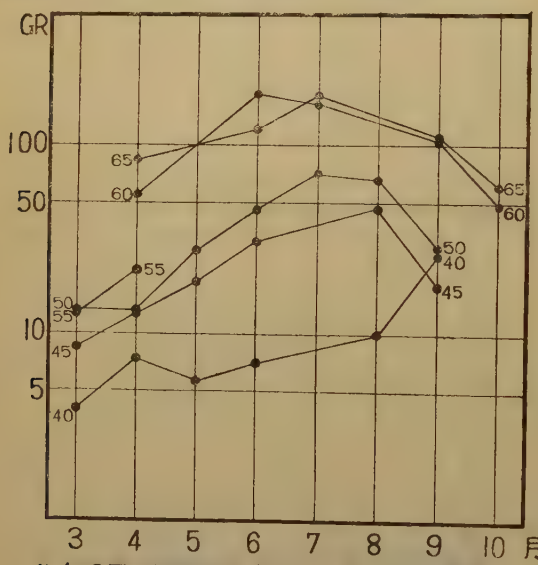
(縦 軸……卵巣重量
横 軸……体 長)



第4の1圖　薩南海區に於ける体長別卵巢重量變化
（縦軸……卵巢重量）圖中の數字は体長の代表値
（横軸……月）　1951 年　（單位 cm）



第4の2圖　薩南海區に於ける体長別卵巢重量變化
（縦軸……卵巢重量）圖中の數字は体長の代表値
（横軸……月）　1952 年　（單位 cm）



第4の3圖　薩南海區に於ける体長別卵巢重量變化
（縦軸……卵巢重量）圖中の數字は体長の代表値
（横軸……月）　1953 年　（單位 cm）

では 7 月に卵巢重量が最大となつているが、これより小さい 45cm 級・50cm 級では 1～2 ヶ月後れて最大となつている。1953 年には 55cm 級の資料が 5 月以降に得られていなかつたが、60cm 級・65cm 級では 6月・7月に最も大きく、45cm 級・50cm 級では大きい個体より矢張り 1～2 ヶ月おくれて最大がみられる。1952 年には 9 月以降の資料がないため小さい個体の最大はみられなかつたが、60cm 級より大きい個体では、最大値は矢張り 6月・7 月に現れている。このように卵巢重量が最大となるのは体長の大きさによつて異り、大きい個体では早く 6 月から 7 月に、小さい個体ではそれより 1～2 ヶ月おくれて最大値が見られる。大きい個体では卵巢重量は 100g 以上となつて、前に述べた熟度 A の段階に、即ち Marr の ripe の段階に達したと考えられるので、その後の卵巢重量の減少は産卵に起因するものと考えられる。それに較べて、小さい個体の減少は卵巢重量が 100g に達せず、從つて成熟の段階に達していないので、産卵のためとは考えられない。寧ろ生理的な週期や環境の影響により、一時的に發達した卵巢が、産卵

の段階に達しないで、漸次萎縮したと考えられる。以上のように薩南海區では 60cm 級より大きい個体が產卵に參加し、產卵期は 6月～8月頃と考える。

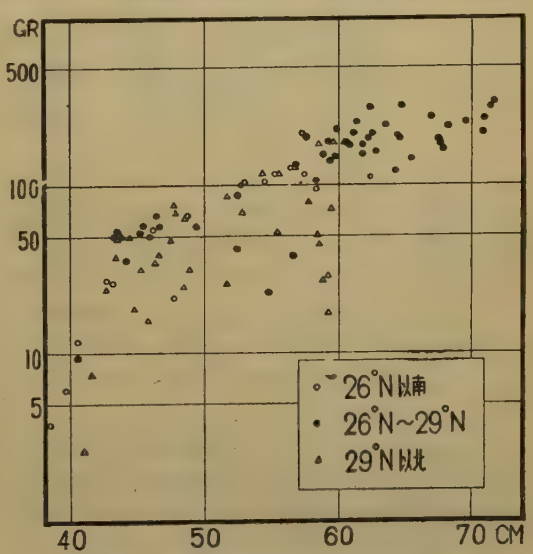
小笠原海區では薩南海區と異つて、操業漁船の數も少く、又操業期間も短く、充分な資料を得ることが出來なかつたので、はつきりと成熟の段階を摑むことが出來なかつた。併し 1951 年には卵巢重量が 9 月には 100g 以上となり、10 月に減少を示して、薩南海區と似ている。漁場も薩南海區と同樣に瀨・島の漁場であり、水溫も高く、產卵の爲の環境條件は一應充分であり、大型のカツオもかなり見られるので、產卵の可能性は充分に認められる。熊田* がこの海區で施網を使用して漁獲したカツオの中から、腹部を押したら卵粒が飛びだした程に成熟したカツオを得ていることからも、產卵することは疑いがない事であらう。

東北海區**では以上に述べた海區とは樣相を全く異にしている。これは薩南・小笠原兩海區の魚群が主として瀨付群であるのに對して、漁獲水溫も低く、東北海區のカツオは潮境に集つた洄游群で、生態的に全く異つた群から成立つているためと思われる。即ち東北海區では卵巢重量が 100g に達する個体は 1 個体も採集されなかつた。殆んど大部分のカツオは非常に成熟が惡く、雌雄の判別さえ困難な生殖巢を持つていた。川崎(1952)によると、この海區のカツオの成長速度が他の海區のカツオのそれに比べて非常に速いと云う事は、成熟度と全く逆の關係があり、東北海區のカツオ㋑は恐らく產卵する事がなく、漁期が終つて分散して南下する頃から成熟しはじめ、南方水域で產卵するものであらう。

四國沿岸の資料は未だ 1 年分しかないので（第 3 圖）、はつきりしたことは云えない。魚群は沿岸の島付・瀨付のカツオで、5 月～8 月が漁期である。薩南海區と漁場が連なり、卵巢重量も同程度のもあるから、漁期中に產卵するものもあるかもしれない。

3） 薩南海區での產卵場について

1）及び 2）で述べたように、薩南海區ではカツオは產卵すると思われる。又薩南海區で、カツオの稚魚・幼魚が多數採集されていることも、同海區又はその近辺で產卵していることを示している。薩南海區を更に 26°N 以南（南部・宮古島附



第 5 圖　1951年薩南海區の區域別卵巢重量
（卵巢重量が大略等しい6月～9月の資料を使用）
（縱軸……卵巢重量
橫軸……体　　長）

* 1941 南洋科學　第 4 卷　第 1 號　p. 67 引用。

** 東北海區には近海と沖合のグループが存在する(川崎1952)。こゝでは沖合の資料が少いため近海のもののみを使用した。

近）・26°～29°N（中部・沖縄本島附近）及び29°N以北（北部・トカラ群島附近・除五島附近）附近の3區域に別けても、卵巣重量には差が認められない（第5圖）。然し体長分布を調べてみると相當に異つている（第6圖本文末尾に掲載）。即ち北部では体長 50cm 以下が大部分であるが、中部・南部になる程大型魚の割合が增加している。

既に述べたように、この海區では60cm 級以上の大型魚が產卵群の主体で、產卵期は6月～8月頃と考えられる。その頃に大型群の廻游が見られるのは、南部・中部の兩區域で、北部區域には見られない。從つて產卵場は中部區域即ち 29° N 以南という事になり、それより北では殆ど產卵しないものと考える。

摘　　要

1951～1953年に日本近海で漁獲されたカツオの卵巣を調べた結果、次のような事が云える。

1. 薩南海區のカツオは南方水域のカツオと同程度に成熟し、產卵するものと思われる。

2. 薩南海區では卵巣の成熟程度・卵巣重量の変化から6月～8月頃に產卵すると考えられる。小笠原海區でも同様に產卵するらしい。

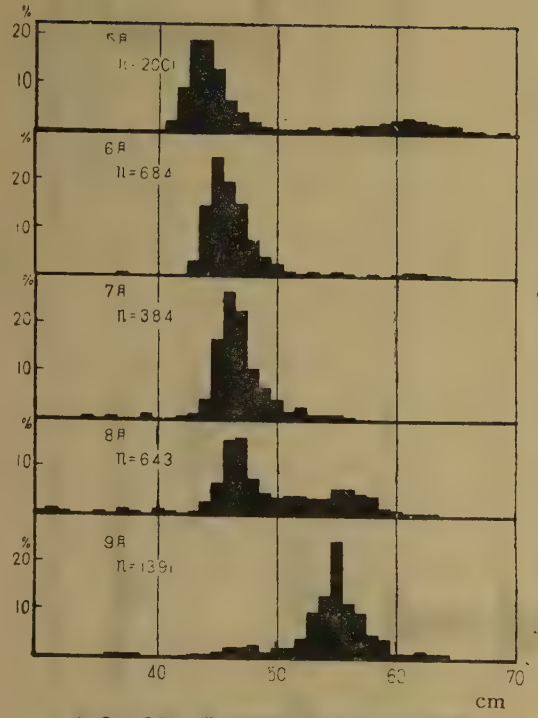
3. 東北海區では產卵するとは考えられない。

4. 薩南海區では卵巣重量は南北に於て差は認められないが、体長組成から考えて、29°N 以北では殆んど產卵しないと考えられる。

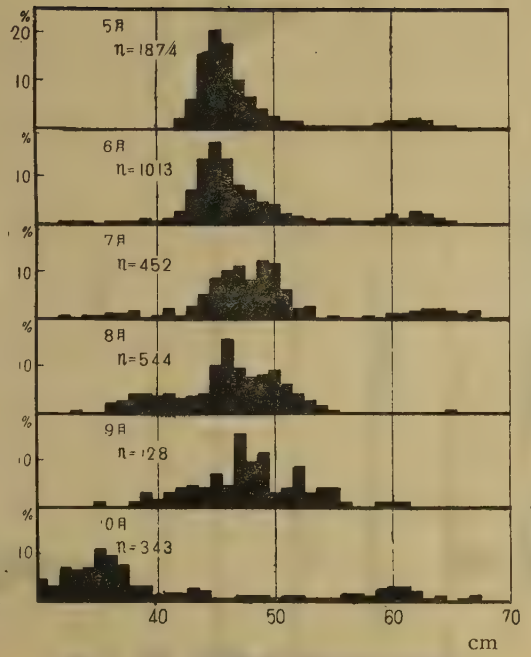
本文を終るにあたつて御指導を受けた本所長木村喜之助博士，本所堀田秀之技官，川崎健技官及び卵徑の測定に從事された小川達技官に厚く感謝する。

文　　献

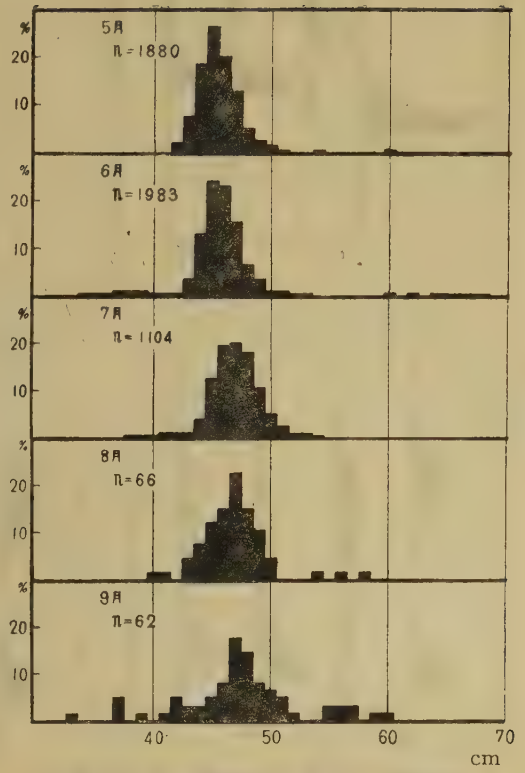
1) 矢部　博（1954）薩南海區における鰹の產卵に關する考察．水產學の概觀，日本學術振興會
2) 松井喜三（1942）パラオ近海產鰹の生殖巢について．南洋科學 5（1）
3) Clark, Frances N.（1934）Maturity of the California sardine（*Sardina caerulea*）determind by ova diameter measurements. California Div Fish and Game, Fish. Bull. **42**
4) Marr, J. C.（1948）Observations on the spawning of oceanic skipjack（*Katsuwonus pelamis*）and yellowfin tuna（*Neothunns macropterus*）in the northern Marshall Island. U. S. Fish and wildlife Serv.,（**51**）（44）
5) 川崎　健（1952）カツオの廻游路の推定（第1報）．日本水產學會東北支部講演（於塩釜 1952-XI）
6) 川崎　健（1955）薩南海區に來游するカツオの成長及び廻游について．東北水研報告（4）
7) 堀田秀之（1953）薩南海區のカツオの幼魚の分布について．東北水研究報告（2）



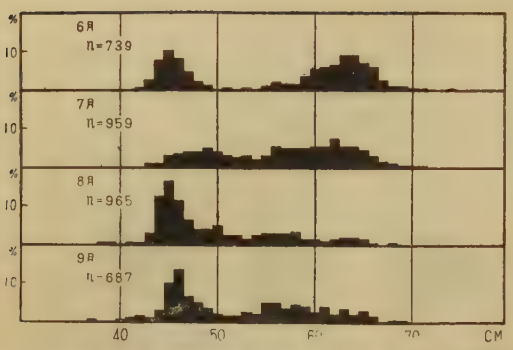
第6の1圖　薩南海區の區域別体長別組成
（1951，29° N以北）



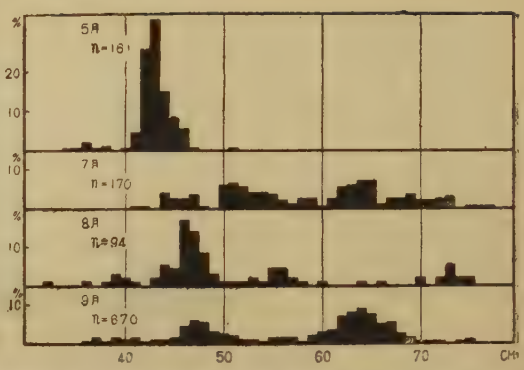
第6の2圖　薩南海區の區域別体長別組成
（1952，29° N以北）



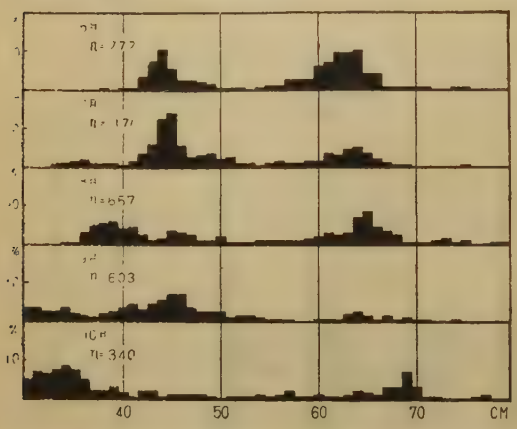
第6の3圖　薩南海區の區域別体長別組成
（1953，29° 以北）



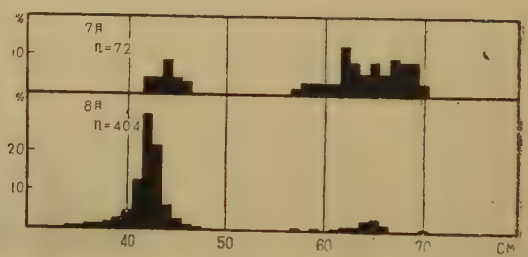
第6の4圖 薩南海區の區域別体長組成(1951, 26°N～29°N)



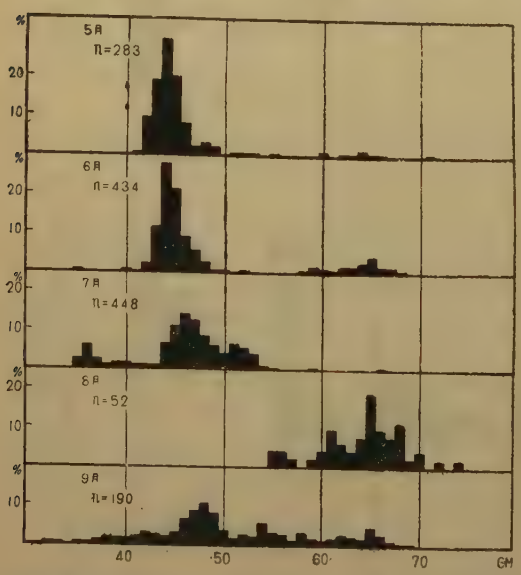
第6の7圖 薩南海區の區域別体長別組成(1951, 26°N以南)



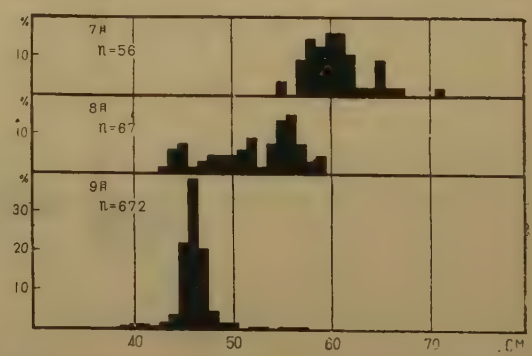
第6の5圖 薩南海區の區域別体長組成(1952, 26°N～29°N)



第6の8圖 薩南海區の區域別体長組成　1952, 26°N以南)



第6の3圖 薩南海區の區域別体長組成(1953, 26°N～29°N)



第6の9圖 薩南海區の域區別体長組成(1953, 26°N以南)

移殖サルボウの成長について※

谷　田　專　治

ON THE GROWTH OF THE ARKSHELL, *ANADARA SUBCRENATA*.

By

Senji TANITA

Examinations were made on the growth of the arkshell, *Anadara subcrenata*, which was transplanted from Shimane Pref. to Matsushima Bay for the three years 1952～'54.

The death rate of the shells by the transport was about 20 per cent in 1952, but all survived in 1953 and '54. It therefore seems possible to transport the seeds of the arkshell to a place far from the seed bed.

In Matsushima Bay, the seed shells grow very rapid after April and attain 10mm more in length by June, but no growth was recognized from late autumn to early spring.

Little differences are found in growth according to the place of rearing. However, the shell length attained by season is nearly equal for each place of rearing.

A calm place seems to be more favorable to the arkshell than where the stream is too strong, because in the latter place the shells have little time to settle and are scattered in the early period by the stream thus the mortality becomes high.

The shell shape of *Anadara* changes a little according to the growth. The growth rate of shell-height and breadth are larger than that of the length, therefore the shell becomes more round in shape.

The damages by the oyster drill in this bay was more than 30 per cent in one station. The parts perforated were the posterior half of the shell. This fact may be related with the habit of the shell. No difference in the perforations of the respective sides of the shells could be recognized.

I. 緒　　言

松島灣内には桂島・宮戸島・福浦島・馬放島などの周邊をはじめとし、東名・磯崎の地先、その他處々にサルボウが棲息しているが、その數量があまり多くないため、採貝は行われていない。しかし昭和22年には磯崎地先の九ノ島一帶で大量のサルボウが漁獲されたが、大漁はその1年で終り、翌年からは稀に採取される程度となり現在に至つている。地元民は亂獲によつて減少したものと考え、サルボウの增殖に深い關心をよせている。

サルボウを灣内では普通アカガイとよんでいるが、モガイとよんでいるものもいる。この貝の稚貝を移殖して增殖するに先立ち、稚貝の中間育成を試み、その成長・歩留りなどについて觀察

※東北海區水産研究所業績　第64號

を行つているので、ここにその成長に關する結果を報告する。

本文に入るに先立ち、昭和27年より毎年稚貝送附に御配慮いただいた島根縣水產試驗場元場長藤村氏並に同水試中海分場の方々の御好意に對し、厚く感謝する。又、前中海分場長太田技師からは貴重な資料の送附をうけ、育成に關する種々の御意見をいただいた。ここに記して深甚の謝意を表する。更に食害調査に際して手傳をうけた本所の堀田技官に御禮を申し上げる。

II. 材料及び方法

實驗材料のサルボウ稚貝は、島根縣中海に於て人工採苗されたもので、同縣八束郡意東村中海赤貝種苗組合より汽車便によつて送附をうけた。昭和27年は11月1日、28年は11月26日、29年は11月25日に到着したが、輸送の所要日數はいづれも約3日であつた。採苗器（マブシ）3房づつを1箱に詰めたもので、到着後は直ちに箱を開き、マブシを1房づつに分けて箱入れとして海に漬し、2日乃至3日後に中間移殖を完成した。中間移殖の方法は太田技師の意見に從い、海中に棚をつくり、その周邊にカキ殻を撒布した後、マブシが海底すれすれになる程度に垂下した。

中間育成場は第1圖に示す通りで、同一灣內でも場所によつて成長・歩留りに差のあることを豫想し、又、育成適地を見出すために、毎年位置を變更して比較を行つた。

種苗到着後、直ちに斃死率を調べ、且つ種苗の大さの測定を行い、移殖後は隨時マブシ 30～40cm を切りとつて、附着稚貝の殻長・殻高・殻幅を 1/20mm の副尺つきキヤリパーを用いて測定した。しかし8月以降となると、稚貝は殆どマブシから脫落して底棲生活に入るので、8月以降のもの及び本移殖をしたものについては、1mm 目の金網つき鋤簾を用いて採取し測定に供した。

第1圖　松島灣に於ける中間育成場の位置

III. 結　　果

(1) 昭和27年度種苗

サルボウ稚貝は輸送によつて多數が採苗器から脫落しているので、その中から 100cc を抽出して生存狀態を調査し、一方、一定の長さに採苗器を切つて、それに附着していた貝の斃死狀態を調べた結果は第1表の通りで、輸送による斃死は 20% 前後であつた。採苗器はタール染繩製マブシで、到着直後少しく惡臭が感じられた。

第1表　輸送による斃死調査結果

種類	脫落せるもの		附着せるもの	
	生存個體	斃死個體	生存個體	斃死個體
サルボウ	3,110	881	140	31
ホトトギス	—	130	4	11
ナミマガシワ	—	1	—	—

中間育成場としては馬放島の北側（第1圖St. I）をえらんだ。この地點は最大干潮時で水深 1m、底質は貝殻混りの砂泥で、アマモが粗に生えている。11月1日に到着したものを4日に移殖したが、翌5日夕刻より6日にかけておこつたカムサッカ沖地震に伴う高潮のために、垂下したマブシがはげしく波にゆられ、多數の稚貝が脫落してしまつた。しかし11月21日の調査の際は、垂下棚を中心にして、附近の海底に撒布したカキ殻やアマモなどに多數附着して生存しているのを認めた。

以後昭和28年4月・6月及び7月に任意抽出によつて附着稚貝の大さ測定を行つたが、8月には施設が倒壞流失したので、それ以降は海底に散在するものを鋤簾で採取して測定を行つた。その結果は第2表及び第2圖の通りである。

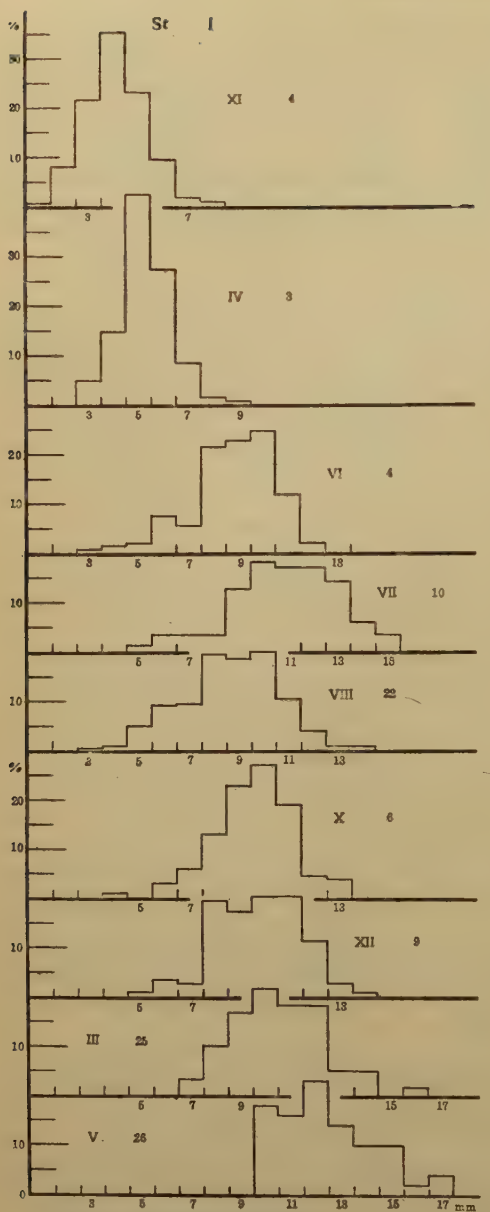
第2表　昭和27年度種苗（St. I に移殖のもの）の成長　（單位 mm）

調査年月日	調査數	殻長（L）			殻高（H）			殻幅（B）		
		最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
27. 11. 4	182	8.8	1.9	4.58±1.16	6.5	1.5	4.49±0.90	4.2	1.1	2.78±0.62
28. 4. 3	143	9.2	3.0	5.71±1.07	7.3	2.0	4.44±0.94	4.8	1.6	2.93±0.68
6. 4	145	12.5	3.6	9.30±1.70	10.1	2.8	7.45±1.53	7.5	1.9	5.05±1.15
7. 10	148	15.8	5.5	11.35±2.16	13.0	4.7	9.34±1.90	9.3	2.9	6.50±1.43
8. 22	240	18.1	3.5	9.22±2.04	14.3	2.5	7.42±1.74	11.3	1.7	5.24±1.37
10. 6	132	13.5	4.5	10.06±1.60	11.4	3.7	8.27±1.51	9.5	2.6	6.08±1.26
12. 9	113	14.3	5.3	10.22±1.72	11.4	4.2	8.11±1.45	8.7	2.8	5.95±1.33
29. 3. 25	60	16.0	7.3	11.03±1.83	13.2	5.5	9.18±1.50	10.5	4.0	6.92±1.50
5. 26	50	16.5	9.1	11.80±1.87	14.9	7.3	9.86±1.62	11.8	5.4	7.74±1.36

（2）昭和28年度種苗

種苗到着直後の調査では、脫落貝並に附着貝とも斃死個體は認められなかつた。採苗器は前年度と異り、シダマブシであつた。輸送による斃死個體が全く生じなかつた原因としては、マブシ資材が異ること以外に、輸送時期が前年より約1ヶ月おくれているため、氣溫が低下していたこと及び、稚貝の大さが前年度より大きいことなどが考えられる。この點は今後のサルボウ移殖に際し、極めて重要なことと思われるので、更に檢討すべきものと考えている。

育成場の相違による稚貝成長の相違を檢するため、4ヶ所に棚をつくり（第1圖St. A～D）夫々5房づつを11月26日に垂下した。St. A はノリ養殖場内で水深は約 1.5m、底質は泥で、ノリ簀が多數あるために潮流は極度に弱められる靜かなところである。St. B は前年度の育成場に近い火付島側で、水深は 0.7m、貝殻混りの砂泥底で、アマモが粗に生え、比較的潮流の疎通のよい場所である。St. C は金島水道内にある駒島附近で、水深は 2m、底質は貝殻混りの砂泥であ



第2圖　昭和27年度種苗の中間育成後における殻長組成

る。この地點は外洋水が灣内へ流入するロの一部にあたるので、潮通しは最も良好である。St. D は桂島前に設置されているカキ養殖筏で、その中央に垂下した。水深は 3m、底は泥質で、潮通しはよいが、周圍の垂下カキによつてある程度さまたげられている。

以上4地點に於ける稚貝の成長測定結果は第3表並に第3圖の通りである。

St. C は潮流が速いため採苗器が常に流動し、マブシ外側に附着している稚貝は次々と

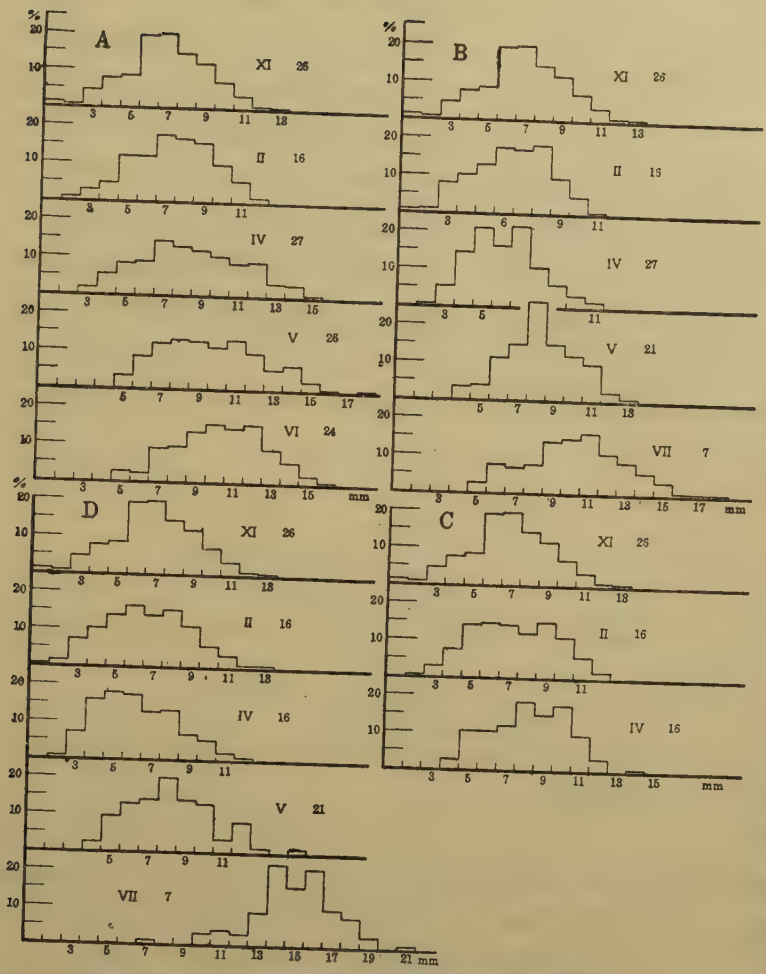
第3表　昭昭28年度種苗（St.A～D に移殖のもの）の成長

調査年月日	調査數	育成場	殻長（L） 最大	最小	平均
28. 11. 26	255	（種苗）	13.8	1.7	7.40±20.2
29. 2. 16	209	A	12.1	2.3	7.92±2.13
〃 〃	264	B	11.4	1.3	6.86±20.2
〃 〃	225	C	12.2	2.8	7.77±2.24
〃 〃	275	D	13.9	1.9	7.13±2.29
4. 27	343	A	15.3	3.0	8.97±2.73
〃 〃	284	B	11.6	2.9	6.63±1.83
〃 16	218	C	14.7	4.3	8.69±2.06
〃 〃	360	D	12.5	2.5	6.70±2.11
5. 26	205	A	18.1	5.4	10.17±2 60
5. 21	174	B	13.2	4.3	8.67±1.88
〃 〃	85	D	15.3	4.5	8.70±2.24
6. 24	179	A	16.9	5 0	10.77±2.35
7. 7	258	B	18.9	5.4	10.67±2.60
〃 〃	101	D	21.5	7 3	15.45±2 23
8. 18	133	B	20.7	6.0	11.64±3.66

脫落し、中心部のもののみが僅かに殘る狀態で、極めて歩留りが悪い。昭和29年5月の調査時には全部が脫落してしまつたので、6 月上旬、育成棚附近で鋤簾採取を試みたが、斃死貝殻のみで生存貝は1個も得られなかつた。

St. D では風波のために筏が上下左右に動く結果、早く脫落するものが多く、歩留りはあまりよくなかつた。

St. A の稚貝は 6 月下旬にマブシより取つて約1萬粒づつ馬放島北西端と磯崎地先へ本移殖を試みた。そして同年11月に調査した結果によれば、馬放地區のものは平均殻長に於て 3.6mm の



第3圖　昭和28年度種苗の中間育成後における殻長組成

成長をみたが、斃死個體が 50% 以上に及び、成績は不良であつた。底質が不適であつたことと、食肉性巻貝による食害のためと想像される。磯崎地區のものは 7 月上旬の大雨のため、高城川の水が大量に注入して塩分濃度が極度に低下したためか、大部分の稚貝は斃死してしまつた。しかし生殘つたものについてみると、殻長で 6～9mm の成長がみられた。

(3) 昭和29年度種苗

採苗器は昭和28年度と同様シダマブシで、輸送時期も殆ど同じであつた。到着直後に於ける稚貝の斃死率は 0 であつたが、この年の種苗にはホトトギスの附着が目立つて多い。これは前2ケ年とは全く異るところで、マブシ 30cm の長さに附着している貝は、サルボウ 654 個に對しホトトギスは 9,200 個に及んでいた。

歩留り・成長など前年度の結果を考慮して、28年度の St. A よりも更に灣奥の2ケ所（第1圖 St. 1, 2）に中間育成場を設け、11 月25日に垂下した。又種苗の一部を磯崎地區青年研究會に依頼し、九ノ島前（第1圖 St. 3）に移殖を試みた。St. 1 及び 2 はともにノリ養殖場内であり、St. 1 は水深 0.6m で潮流の疎通はあまり良好ではない。St. 2 は代ケ崎水道に近く、水深 1.5m で、前者よりは外洋水が多く入るところであり、兩地點とも底質は泥である。St. 3 は水深 2m でアマモが生じ、潮通しの良好な砂泥底地である。

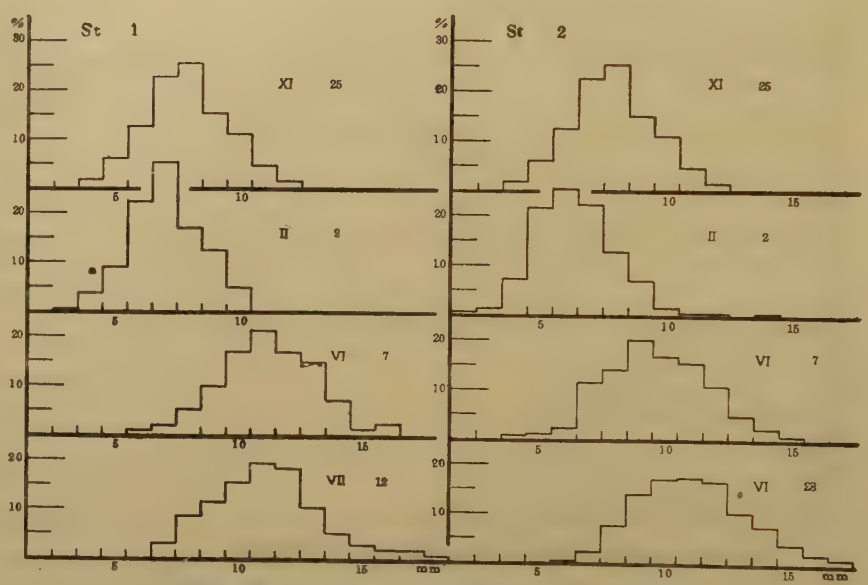
移殖後の稚貝の成長は第4表及び第4圖の通りである。

マブシに附着していたホトトギスは移殖後も減少がみられず、昭和30年2月の調査例では、採

第4表　昭和29年度種苗
（St. 1～3 に移殖のもの）の成長

調査月日	調査數	育成場	殻長（L） 最大	最小	平均
29. 11. 25	285	（種苗）	12.9	4.2	8.34±1.66
30. 2. 2	288	1	10.7	3.8	7.54±1.32
〃 〃	387	2	14.9	2.7	6.88±1.58
6. 7	193	1	16.7	6.2	11.72±1.97
〃 〃	299	2	15.9	4.4	10.13±2.01
〃 17	336	3	14.3	3.7	8.44±1.77
7. 12	266	1	18.8	7.1	11.67±2.22

苗器 30cm の附着數は、St. 1 に於てはサルボウ 282 個にホトトギスは 7,300 個（平均殻高 7.63mm）であり、St. 2 に於てはサルボウ 830 個に對しホトトギスは約 13,000 個（平均殻高 8.44mm）であつた。日數の經過とともに附着ホトトギスは成長し、各個體が足絲によつて連り合い、その間に泥が入つて採苗器を包んでしまつた結果、サルボウ稚貝はホトトギスの被膜の下に附着している狀態となつた。從つてマブシから脫落したサルボウは直接海底へ落下するものは殆どなく、マブシの下端に堆積し斃死している個體が多くみられた。



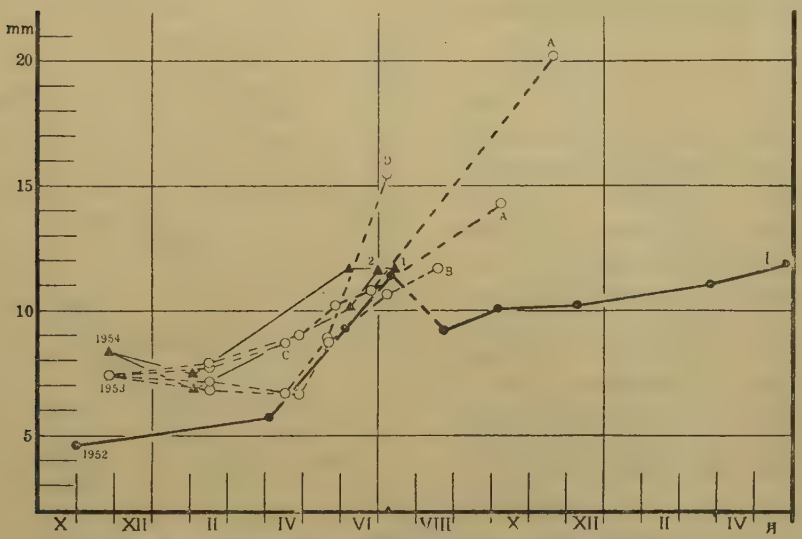
第4圖　昭和29年度種苗の中間育成後における殻長組成

昭和30年6月下旬及び7月中旬に夫々 St. 2 及び St. 1 のマブシを取揚げて調査したところ、St. 2 に於ては1房から得られた生存稚貝は平均 1,200 個（520g）で、斃死貝は平均600個、附着ホトトギスの平均殻高は 10.75mm であつた。St. 1 に於ては1房當り平均 400 個（200g）の生存稚貝を得たにすぎず、死貝は 1,000 個以上に及んでいた。これに附着しているホトトギスは殻高平均 11.75mm に成長していた。このように1房當りの生存稚貝の數に於ては、兩地點間に可成りの差はみられたが、歩留りは共に極めて不良であつた。それは附着稚貝數が元々少なかつたのか、ホトトギスの大量附着によつて斃死個體が多くなつたのか、取揚時期がおそきに失したのか、あるいは移殖場の不適を物語るものかは明かではない。いづれにしても、今後のサルボウ移殖に際しては、特に歩減りに注意し、管理方法を檢討しなければないものと考えられる。

St.3 のものは6月まで放置し、中間における調査は行わなかつた。6 月 17 日の調査の結果は、第4表にみられるように、殆ど成長していないようにみえるが、この調査時には既に大型のものは脱落してしまつたものと思われる。この地點は潮流の疎通が良好なためか、ホトトギスも大部分脱落していて、他でみられたような被膜は形成されていなかつた。鋤簾によつて脱落貝を採取し測定した結果によれば、脱落貝の方が附着貝よりも殻長に於て平均 1mm 程度大きい値を示していた。尙この時まで附着していたホトトギスの大さは、殻高平均 6.74mm であつた。

(4) 松島灣に於ける中間育成

以上3ヶ年のサルボウ種苗の松島灣内種々の地點における成長を、平均殻長によつて示せば第5 圖の通りである。



第5圖　中間育成場における成長（平均殻長によつて示す）

3ヶ年間の中間育成結果をみると、松島灣においては11月より翌年3月に及ぶ冬季間は、稚貝の成長は殆どないか、あつても極めて僅少であることがうかがわれる。そして4月以降急激に成長し、5月乃至6月には附着稚貝の平均殻長は10mm を超えるに至る。しかし昭和27年度の種苗のように早期に移殖したもの、即ち種苗の小さかつたものでは、成長がやや劣るように思われる。

中間育成場を異にすると稚貝の成長に多少の差がみられる。3 ケ年の結果からみれば、灣奥で潮流の疎通のあまり良好でないところの方が成長がよいように思われるが、潮流疎通の良好なところは、早期に稚貝が脱落することが多いからであろうと考えられる。しかし育成場の相違による稚貝の成長の差は、あまり著しいものではなく、6 月に至ればほぼ同じ大きさまで成長し、殆ど場所による差は認められなくなる（第2～4表，第5圖）。昭和29年度の種苗のように、多數のホトトギスが附着していても、翌年5月乃至6月までにはホトトギスの殆ど附着していなかつた前年度のものと略同じ大さまで成長したが、歩減りは非常に大きかつた。

松島灣に於ける育成場の相違は、稚貝の成長に對するよりも、歩留りに大きな差を與えている。それは育成場の潮流の疎通の良否によつて、附着稚貝の散逸の度合が異ることが主な原因と考え

られる。然しここにいう歩留りは附着貝についてであつて、脱落貝を含めたものではないから、眞の歩留りとはならないが、育成場の底質が砂泥又は泥であつたためか、脱落貝の大部分が斃死していたので、正確な歩留りについては別に精密な調査を行う豫定である。

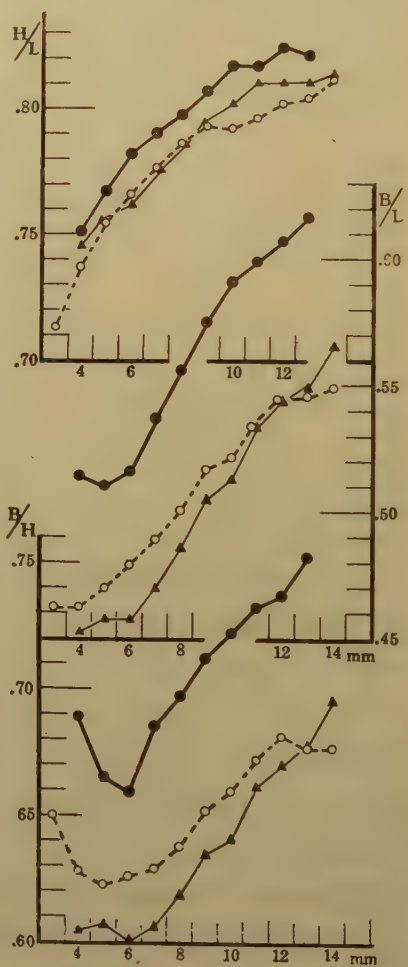
(5) 比　成　長

サルボウは成長につれて貝殻の形が變つてくる。即ち成長に伴つて殻長 (L)・殻高 (H)・殻幅 (B) 相互間の比が變化する。昭和27年度種苗について、日數の經過に伴う殻の變化を、L・H・B 相互間の比をもつて示すと、第5表の通りである。又、殻長を基準として比の値の變化を示したものは第6圖で、3 ケ年とも略同様な傾向を示している。

第5表　殻の長・高・幅の比平均（昭和27年度種苗）

調査年月日	調査數	H/L	B/L	B/H
27. 11. 4	182	0.727±0.036	0.452±0.027	0.623±0.037
28. 4. 3	143	0.768±0.039	0.510±0.024	0.666±0.038
6. 4	145	0.798±0.036	0.538±0.036	0.675±0.037
7. 10	148	0.820±0.033	0.567±0.043	0.690±0.046
8 22	240	0.798±0 039	0.561±0.045	0.704±0.046
10. 6	132	0.817±0.042	0.594±0.045	0.728±0.039
12. 9	113	0.790±0.025	0.575±0.042	0.728±0.043
29. 3. 25	60	0.832±0.040	0.625±0.047	0.753±0.056
5. 26	50	0.826±0.030	0.644±0.036	0.779±0.026

サルボウは日數の經過にともなつて、殻長よりも殻高・殻幅の伸びの割合が大きくなり、從つて長味をおびていたものが、次第に高さと幅とを增して丸味をおびてくる。而して第6圖で見られるように殻長5～7mm までは、殻幅よりも殻高の增加率が大きいが、それ以後は殻幅の增加が大きくなることが認められる。殻の形の變化することについては日下部 ('54) も述べており、土中生活に移ると殻は急にその幅が厚くなり、稚貝期を脱したことがある程度判斷できると述べているが、本調査ではこの點は明かにされなかつた。



第6圖　サルボウの比成長
—▲—●—27年度，…○…○…28年度，
—▲—▲—29年度

(6) 肉食性巻貝による食害

昭和28年度種苗の中間育成場中 St. C は、前述の通り潮流がはげしく、早期に稚貝全部が脱落し、6 月の鋤簾採取によつては生貝は1個も得られなかつた。ここで得られた斃死貝を觀察すると、第6表に示す通り、肉食性巻貝によつて穿孔されたものが多

數みられる。殻に穿たれた孔は普通1個であるが、殻の他の部分に穿孔しかけた跡のみられるものもあり、又1枚の殻に2個の孔のあつたものが13個みられた。1枚の殻に2個ある孔は2個とも完全に貫通しているもので、2匹の穿孔巻貝が同時に穿孔したものか、個々別々に穿孔したものかは不明である。1殻に3個以上の孔は全く認められなかつた。又、左右兩殻の咬合線上に穿孔し、孔が左右にまたがつているものもみられた。

第6表　食害調査結果 (St. C)

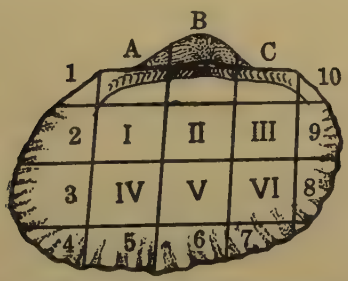
殻	調査數	無孔	有孔(孔數)	穿孔率　%
左	751	468	283 (288)	37.7
右	678	465	213 (222)	31.4
計	1,4294	933	496 (510)	34.7

第6表にみられるように、肉食性巻貝によつて脱落貝の 30% 以上も食害されることは、この地點が移殖地に適しないことは勿論、今後の移殖に際しては害敵に對しても充分なる注意を拂わなければならないことを示すものである。松島灣における穿孔巻貝としては、ツメタガイ・レイシ・イボニシ・オウヨウラク・エゾヨウラクガイなど數種類知られているが、サルボウに穿孔する巻貝については實驗觀察中であるから、別に報告する豫定である。

穿孔されたサルボウ496個につき、第7圖に示すように、窩心部を 6, 邊緣部を 10, 咬合線部を3の19區分し、穿孔位置を調査した結果は第7表の通りである。

第7表　穿　孔　位　置

殻	窩心部						邊緣部										咬合部			計
	I	II	III	IV	V	VI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	A	B	C	
右	28	23	8	16	23	55	0	1	7	5	7	12	0	1	0	0	27	3	6	222
左	50	25	10	23	37	60	1	0	8	3	15	8	5	2	0	0	29	9	3	288
計	78	48	18	39	60	115	1	1	15	8	22	20	5	3	0	0	56	12	9	510



第7圖　サルボウの穿孔調査區分

即ち殻の左右による部位の差は殆ど認められず、兩殻とも體の中央より後部に多く、前體部に少い。これは底棲サルボウの生態に關連しているのではないかと想像される。

IV. 考　　察

サルボウの稚貝が成貝の生活に移るのは、日下部 ('54) によれば殻長が 10～15mm で、附着に入つてから 3～6 ヶ月後であるという。島根水試中海分場報告 ('55) によれば、中海においてはサルボウは冬季でも成長し、附着翌年の 1 月にはすでに殻長 10mm を超している。

松島灣に移殖した稚貝は、3 ヶ年間の結果からみれば、殻長が 10mm を超すのは 5 月乃至 6 月であり、中海や廣島・岡山地方のそれと比べて、かなり成長がおそい。

育成期間中における氣溫・水溫・比重・潮候などの資料の發表されている岡山縣 ('53) の育成場と、松島灣の夫とを比較してみると、比重に於ては大差は認められないが、冬季の水溫にかな

りの差がみられる。即ち旬平均についてみれば、岡山縣下の育成場で水溫が 10°C 以下となるのは 12 月下旬で、2 月の最低でも 5°C 以上を示し、3 月上旬又は中旬には 10°C 以上となる。一方松島灣では、11月中旬からすでに 10°C 以下となり、最低の 1, 2 月は 2° 乃至 3°C であり、しかも水溫が 10°C 以上となるのは 4 月中旬あるいは下旬であつて、水溫の低下が早く且つ上昇はおそい。これらのことから考えると松島灣におけるサルボウの成長期間は、廣島・岡山地方に比べてかなり短く、停止期が長いものと想像される。即ち松島灣において稚貝の成長のおそいのは、他の條件もあろうが、水溫が低いということが大きな原因の一つと考えられる。

以上のことから、松島灣のように、採苗地よりも水溫の低い地方にサルボウを移殖する場合は、早期の種苗よりも、採苗地においてある程度大きくしたものの方が望ましいことになる。昭和27年度の種苗と、ほぼ 1 ケ月おそく到着した28・29年度の種苗との間には、平均殻長で約 3mm の差がみられているが、この差は太田技師の資料その他から、中海における 1 ケ月間の成長とみることができる。しかるに松島灣においては、27年度種苗の育成結果からも知られるように、この間ほとんど成長はみられていない。尙、種苗を大きくしてから移殖することは、廣島水試の報告（'54）にもあるように、稚貝の歩減りを少くすることともなり、又輸送にも好都合になるものと考えられる。

育成場の相違による稚貝の成長及び歩留りの良否に關しては、岡山縣の報告（'53）には場所による相違が示されているし、又廣島縣における調査結果にも差がみられる。松島灣でも場所による成長の差はみられたが、あまり顯著ではなく、むしろ附着稚貝の歩留りに大きな差がみられた。

廣島縣の報告によれば、歩減りの主原因は食害ではなく、微小稚貝の自然死亡、移殖による稚貝の活力低下、波浪などによる稚貝の散逸であろうと述べているが、松島灣においても、育成場の潮流の疎通、波浪などが歩留りに大きく作用しているものと考えられるが、更に肉食性卷貝による食害も決して無視できないように思われる。

V. 摘　　要

昭和27年より毎年、中海產サルボウの人工採苗した稚貝の輸送をうけ、松島灣內で中間育成を試みた結果の大要を報告した。

汽車輸送による稚貝の斃死率は、27 年度は約 20% であつたが、28・29 年度は 0 であつた。斃死率の低下した原因としては、輸送時期が 1 ケ月おくれたこと、從つて輸送期の氣溫が低く、且つ稚貝が成長して大きくなつていたこと、及びマブシ資材が異つたことなどが考えられる。即ち11月以降となれば、シダマブシを用いて採苗し、ある程度大きくなつた稚貝であれば、かなりの長距離輸送が可能であると思われる。

松島灣においては、11 月より翌年 3 月までは稚貝の成長はほとんどないか、あつても極めて僅かであるが、4 月以降は急速に成長し、5 月乃至 6 月には附着稚貝の殻長平均が 10mm を超すに至る。

中間育成の場所の相違により、成長に多少の差が生ずるが、著しい差ではなく、成貝の生活に入る大さに達する時期は、場所によつてあまりかわらない。

中間育成場としては、潮流疎通のあまり良好なところは、波浪のために稚貝が脱落散逸し、歩留りがよくないので、むしろ穏かなところが良好であつた。

サルボウは成長するにつれて殻の形が變り、殻長よりも殻高・殻幅の伸びの割合が大きいため、次第に丸味をおびてくる。

松島灣においては、肉食性巻貝による被害も無視することはできない。巻貝によつてサルボウが穿孔される部位は、殻の後半部に多いが、これは、サルボウの生態に關連しているように思われる。

文　　献

廣島縣水產試驗場（1953）昭和27年度淺海增殖資源維持事業成績報告
――――――（1954）昭和28年度藻貝人工採苗種苗中間育成試驗　水試だより（36）
堀田秀之・田村正（1953）孔を穿たれたアサリの穿孔位置について　北大水產研究彙報　4(3) 216～218
日下部臺次郎　（1954）モガイとその養殖　水產增殖叢書（6）
岡山縣水產課・岡山縣水產指導所（1953）昭和27年度淺海資源維持事業成績書
島根縣水產試驗場中海分場（1955）サルボウの稚仔の生態について

養殖海苔の色澤變化に關する研究※
第2報　脂溶性色素及び水溶性色素の變化について

佐　野　孝

STUDIES ON THE COLOUR CHANGE OF CULTURED LAVERS
II. ON THE CHANGE OF CHLOROPHYLL, CAROTENOID AND OTHER HYDROCHROME

By

Takashi SANO

The auther has studied on the contents of chlorophyll, carotenoid and other hydrochromes which have influence on the processed laver, using the EPU-2 type Hitachi photoelectric spectrophotometer and the R-3 type photoelectric spectro-reflectometer.

The experiments have been carried out with regard to the condition of light, the effect of water temperature and pH value of the cultural media. The light intensity was measured by the Sekonic model III photometer.

The water temperature of the cultural media were 12～20°C and 1°C respectively, and the composition the media was as follows:

C.		D.	
$CO(NH_2)_2$	0.6g	$CO(NH_2)_2$	80g
$NaNO_3$	0.2	$NaNO_3$	20
KH_2PO_4	0.2	KH_2PO_4	16
$NaHCO_3$	0.1	$NaHCO_3$	8
$MgCl_2$	0.1	$MgCl_2$	8
$FeCl_3$(2%)	3 drops	$FeCl_3$	2
sea water	1000cc	sea water	72 litter

The sesults obtained are summarized as follows:

(1) The colour of the laver was influenced by a change of chlorophyll, carotenoid and other hydrochrome.

(2) The contents of these pigments increase or decrease according to the contents of the nutrient salts in the sea water.

(3) The greater the content of the hydrochromes such as phycoerythrin and phycocyan the less was the reflection percentage.

(4) The pigments of the chlorophyll and carotenoid of the laver develope by a moderate strength of light.

(5) The pH value of the cultural media rises above 9 when the yellowish laver

※東北海區水產研究所業績　第65號

has been cultured for hours in the absence of HCO_3' ion. On the contrary, the pH value of the media remains under 8 when bicarbonate salt was added. The water temperature of that experiment was below 10°C.

In the conditions of experiment, the laver could be cultured with colour development after than more 60 hours in the aquarium vat in the presence of the nutrient salts.

I. ま　え　が　き

筆者は前報[1]に於て、水溶性色素の變化について報告した。Chlorophyll は光合成と密接な關係があるばかりでなく、Carotenoid・Phycoerythrin 及び Phycocyan 等と共に海苔の成長・色澤變化にも直接關係することから、それら色素量の變化は養殖上極めて興味ある問題である。

海苔の Chlorophyll 及び Carotin については、富士川[2]（1937）・山川[3]（1953）・小幡等[4]（1949）の報告がある。富士川は南部朝鮮産アマノリについて、それらの色素は 2 月頃最大量を示し、山川は東京灣・伊勢灣の海苔について、12 月下旬乃至 1 月上旬頃最も多く、何れも海苔の色調と一致するとし、小幡等は乾海苔の褪色は Phycocyan 及び Chlorophyll の喪失によることを明らかにした。

筆者は海苔の色澤變化と脂溶性色素（Chlorophyll 及び Carotenoid）及び水溶性色素（Phycoerythrin 及び Phycocyan）との關係について檢討し、海況との關連についても調査を行い、又色調の低下した海苔を培養によつて品質改善を行う目的で、前報に述べた培養方法について追試を行い、若干の知見を得たのでそれ等の結果をここに報告する。

II. 養殖場に於ける色澤變化

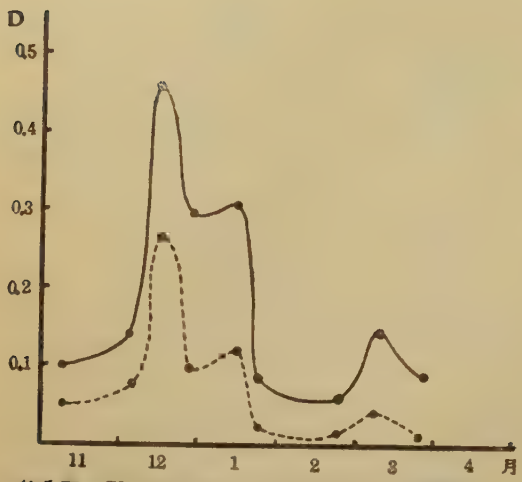
先づ培養による海苔の色澤變化について述べる前に、養殖場に於ける Chlorophyll 及び Carotenoid 類色素と水溶性色素の季節變化、海苔の色調と水溶性色素との關係、水溫・塩素量及び榮養塩類との關係について述べる。

(1) 脂溶性色素及び水溶性色素の變化

1954 年 11 月～55 年 3 月迄主として松島灣内の 3 ヶ所[1]（第 I 報第 7 圖 St. 1・2・5）の養殖場から採取した海苔について述べる。

同一場所（St. 1）に於ける脂溶性色素について、前報に報告した Chlorophyll[5] 及び Carotenoid 類の色素の吸收帶は λ400～450mμ（紫色部）・λ470～480mμ（青紫色部）及び λ650～680mμ（赤色部）に山がある。ここで λ400～450mμ と λ470～480mμ は Chlorophyll 及び Carotenoid に依る吸收であり、λ650～680mμ の山は Chlorophyll によるものと考えられる。

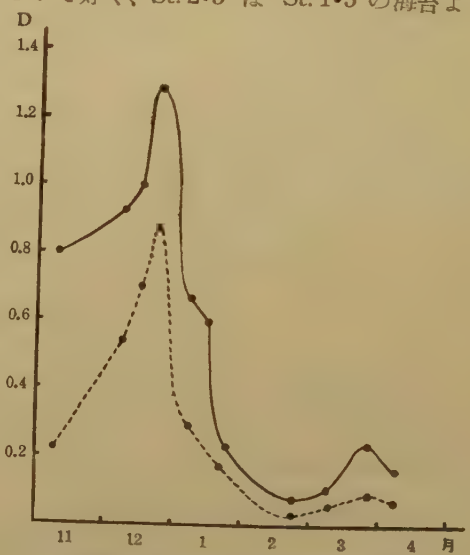
そこで λ660mμ と λ480mμ の吸光度（optical density）の季節變化を見ると第 1 圖のように、11 月上旬幼葉のものは少く、成長と共に 12 月下旬頃迄增加するが、1 月上旬頃から減少し 3 月に至つて再び稍々增加した。



第1圖　Chlorophyll, Carotenoid の季節變化
●——— 480mμ
●..... 660mμ

水溶性色素の吸收帶については前報に述べた通りであるが、λ620mμ と λ530mμ の吸光度の季節變化は第2圖のようになつて、脂溶性色素の變化と殆ど平行する。他の2ヶ所(St.2•5)に於ても同様な變化が見られ、これら兩色素の季節變化と海苔の色澤は一致する。

又松川浦にて種付を行つた細葉の海苔を、松島灣内の5ヶ所の養殖場に移植して色澤の比較を行つた。移植した月日は明らかでないが、12月11日～16日の間に採取した結果は、育生場所によつて海苔の色澤は異なり、St.4の海苔は色澤最も良好で、St.1•5 がこれについで好く、St.2•3 は St.1•5 の海苔よりも色澤は低下していた。



第2圖　水溶性色素の季節變化
● —— 530mμ
● 620mμ

これらの海苔について脂溶性色素と水溶性色素の測定を行つた結果（第1表）でも、色澤の良好な海苔程兩色素量は多くなつていた。

次に海苔ヒビの建込層が平均水面より下層で、一般のヒビ建込層より低かつたものは11月24日に約30貫の收量を得たが、海苔の色澤は非常に悪くなつていた。

この海苔の色素を測定した結果は第2表に示すように、平均水面に建込した海苔（1）に比較して下層の海苔（2）の兩色素の吸光度の値は少くなつている。

このように海苔の色澤は干出時間によつても變化するので、1954年9月1日に松島灣内の塩釜地區の種付場（水深2.5m）と沖合水の浸入する場所（水深6m）の地點に、丸竹を垂直に建込んで海苔の胞子を附着させ、12月24日まで成長させた海苔について兩色素量の比較を行つた。

附着層による色素の比較は、水深 2.5m と 6m の沖合の場所共海苔の附着層は干潮線上約 90cm の範圍に附着成長していたので、下層より 30cm づつ上・中・下の別々に採取し、それ等についてそれぞれ脂溶性色素と水溶性色素の吸光度を測定した。

その結果は第3表のように、塩釜地區（A）は上層より下層に行くに從つて兩色素量は減少し、

第1表　養殖場所に於ける色素の變化

色素	Chlorophyll 及び Carotenoid(D)					水溶性色素 (D)				
場所	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	st. 5
採取月日 (mμ)	12. 11	12. 13	12. 13	12. 14	12. 16	12. 11	12. 13	12. 14	12. 14	12. 16
430	1.24	0.74	0.82	1.40	1.10	0.72	0.43	0.43	0.89	0.60
480	0.69	0.46	0.47	0.90	0.68	0.98	0.63	0.65	1.20	0.86
530	0.19	0.13	0.12	0.29	0.21	1.40	1.22	1.25	1.40	1.40
580	0.14	0.10	0.13	0.24	0.21	1.40	1.00	0.11	1.90	1.30
620	0.28	0.19	0.19	0.42	0.30	0.90	0.64	0.69	1.20	0.82
660	0.38	0.26	0.27	0.54	0.40	0.49	0.34	0.35	0.64	0.44

海苔の色澤は上層より下層に行くに從つて低下していた。

他方沖合(B)の場所に於ては淺い場所と反對に下層に行くに從つて兩色素量は增加の傾向があるが、海苔の色澤は上・中・下共同樣で、その差は肉眼觀察では判別出來なかつた。

この原因については、明らかでないが、Chlorophyll 及び Carotenoid 類色素と水溶性色素の季節變化は殆ど平行し、海苔の色澤變化と一致する。

而してそれら兩色素の含有量は、季節により、又育生場所及び干出時間等によつて異なる事が推定される。

第2表　ヒビ建込層による色素の變化

色素 (mμ)	Chlorophyll, Carotenoid(D) 1	2	水溶性色素 (D) 1	2
430	0.53	0.01	0.75	0.23
480	0.30	0.07	0.42	0.28
530	0.11	0.02	0.82	0.44
580	0.11	0.02	0.63	0.38
620	0.18	0.02	0.39	0.23
660	0.28	0.04	0.19	0.14

第3表　附着層による色素の變化

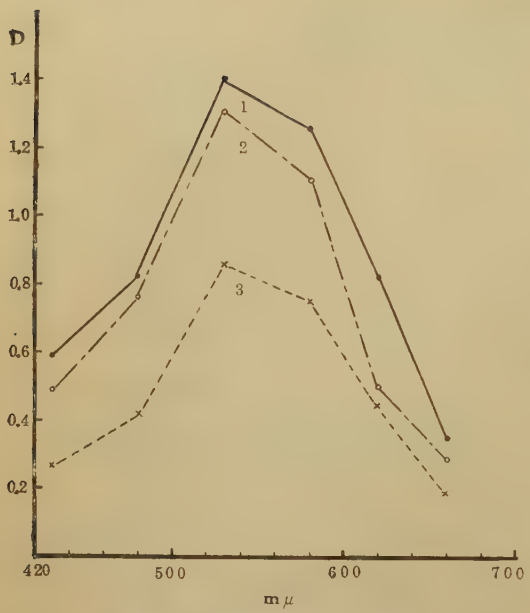
場所	A						B					
色素	Chlorophyll及び Carotenoid の吸光度			水溶性色素の吸光度			Chlorophyll及び Carotenoid の吸光度			水溶性色素の吸光度		
層別 (mμ)	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
430	0.80	0.74	0.68	0.49	0.49	0.22	0.33	0.33	0.39	0.34	0.39	0.42
480	0.46	0.36	0.36	0.80	0.73	0.38	0.21	0.18	0.24	0.47	0.55	0.60
530	0.10	0.09	0.07	1.30	1.30	0.70	0.02	0.03	0.03	0.92	1.00	1.08
580	0.12	0.11	0.08	1.40	1.30	0.57	0.02	0.02	0.03	0.73	0.82	0.88
620	0.19	0.19	0.13	0.89	0.83	0.33	0.03	0.04	0.06	0.44	0.48	0.52
660	0.28	0.28	0.24	0.40	0.38	0.18	0.05	0.06	0.08	0.25	0.27	0.30

(2) 乾海苔の色及び水溶性色素の變化

乾海苔の色の數量的表現として、日立分光反射光度計 EPU-R 型を用いて、乾海苔の分光反射率特性を測定した。

第3圖のような水溶性色素の吸收曲線を示す3種類の乾海苔について、λ420～700mμ の反射率を測定すると第4圖のようになる。

乾海苔の色澤は水溶性色素の吸收曲線と平行し、(1) は最も良好で、(2) はこれにつぎ、(3)



第3圖　水溶性色素の吸收曲線

射率は大きな値を示している。

尙これらの乾海苔について水溶性色素の吸收曲線を見ると第6圖に示すように、當然の

第4表

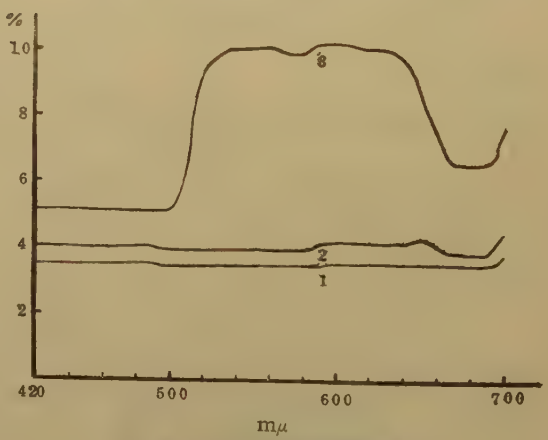
試料	採取月日	採取場所
1	1954. 11. 10	松島灣内
2	1954. 11. 16	松島灣内
3	1955　3. 10	松島灣内
4	1955.　2. 19	東京灣内
5	1955.　2. 19	東京灣内（松島ノリを10月24日に移殖す）

は色澤の稍低下していたものである。

これらの反射率特性は（1）の乾海苔は反射率が測定した全波長に亘つて一様に約4%で略々黑に近く、（2）は黃色から赤色に反射が多く、更に（3）になると綠色から赤色に反射が多くなつている。

そこで第4表に示すような乾海苔No.1は第1回摘採海苔で色澤最も良好なもの、No.2は平均水面より下層の海苔で色澤の低下したもの、No.3は稍黃變したもの、No.4及びNo.5は色調は黑いが光澤の稍低下したものを用いて、反射率の最も高いλ500～600mμ迄の各波長に於ける反射率を測定した結果は第5圖のようになつた。

即ち肉眼檢査と同樣に色調の悪いものは反



第4圖　海苔の反射率特性曲線

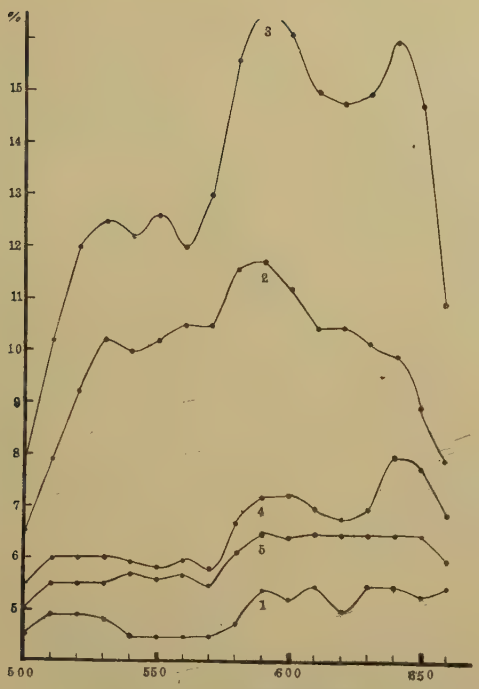
事ではあるが、反射率と反對に色調の良好な乾海苔は水溶性色素量は多い。

そこで第5表のような養殖場所・種類・色調の異なる10種類の乾海苔について、反射率と水溶性色素の吸光度とを表示すると第6表の様になつた。

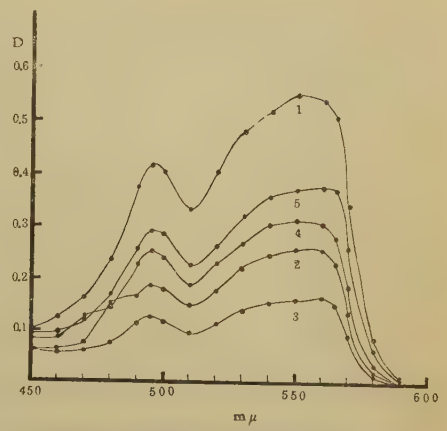
乾海苔の色調は、松島灣内のものは反射率は4～18%で、季節が進むに從つて低下する。

東京灣内の乾海苔（4. 5. 9）は反射率が4～7%で、2月になつても色調は良好で、松島灣内の第1回摘採海苔と殆ど同樣である。

山田灣内のものは3月なつても反射率は5～7%で、東京灣内の2月に採取した海苔に匹敵



第5圖　海苔の反射曲線の變化



第6圖　水溶性色素の吸收曲線の變化

第5表

試料	採取年月日	採取場所
	1954. 11. 10	松島灣(釜の口)
2	1954. 11. 10	松島灣(アオノリ混合)
3	1954. 11. 15	松島灣(吉田濱)
4	1955. 2. 19	東京灣(江戸川沖合)
5	1955. 2. 19	東京灣(江戸川沖合)
6	1955. 3. 7	松島灣(濱田浦)
7	1955. 3. 7	松島灣(濱田浦)
8	1955. 3. 10	松島灣(釜の口)
9	1955. 3. 10	東京灣(羽田沖合)
10	1955. 3. 20	山田灣(岩手縣)

する。

乾海苔の光澤に關係する成分については明らかでないが、日立製作所で試作した光澤計で測定した結果は光澤の良好なものも悪いものも殆ど同一値で、比較することが出來なかつた。

例えば光澤について一例をあすと、第4表・第5圖及び第6圖に示した東京灣江戸川沖合の海苔(5)と松島灣内で種付を行つた海苔(4)を同一場所に1954年10月24日移植して、55年2月19日に色澤の比較を行つて見ると、反射率は第5圖に示したように、海苔の色は東京灣の海苔は松島灣から移植したものより黑く、水溶性色素量（第6圖）も多くなつていた。

然しながら光澤は反對で松島灣から移植した海苔の方が良好であつた。

(3) 水溫・塩素量及び榮養塩類の變化

前報に述べたように、榮養塩と色澤變化の關係については施肥實驗の結果明らかになつたが、水溫・塩素量及び榮養塩等が同時に變化している松島灣内の觀察結果を述べる。

1954年7月～55年3月迄松島灣内の養殖場（St. I 第1圖の海苔を採取した場所）の水溫・塩素量及び榮養塩（NH_4'-N. NO_3'-N. P）の季節的分布は夫々第7圖・第8圖に示す通りである。

水溫は7月中旬頃迄 20°C 内外で低溫であつたが、下旬から急激に上昇し、9月中旬頃まで 26°C 内外になつた。

第6表　海苔の反射率と水溶性色素の吸光度

mμ	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
	T %	D	T %	D	T %	D	T %	D	T %	D	T %	D	T %	D	T %	D	T %	D	T %	D
450	—	0.093	—	0.060	—	0.100	—	0.080	—	0.090	—	0.040	—	0.060	—	—	—	0.106	—	0.130
460	—	0.114	—	0.063	—	0.122	—	0.085	—	0.097	—	0.041	—	0.055	—	—	—	0.136	—	0.147
470	—	0.161	—	0.076	—	0.163	—	0.105	—	0.122	—	0.043	—	0.061	—	—	—	0.195	—	0.181
480	—	0.231	—	0.150	—	0.235	—	0.146	—	0.167	—	0.055	—	0.076	—	—	—	0.281	—	0.250
490	—	0.380	—	0.166	—	0.371	—	0.225	—	0.255	—	0.085	—	0.113	—	0.003	—	0.452	—	0.375
500	5.0	0.428	6.5	0.180	4.5	0.401	5.5	0.238	5.0	0.285	8.0	0.088	8.0	0.118	11.0	0.006	4.9	0.511	5.0	0.420
510	5.2	0.351	7.9	0.149	4.9	0.330	6.0	0.186	5.5	0.225	10.0	0.070	10.2	0.095	13.0	—	5.0	0.438	5.2	0.345
520	5.5	0.421	9.2	0.179	4.9	0.400	6.0	0.230	5.5	0.262	11.8	0.082	12.0	0.114	14.5	0.004	5.0	0.528	5.5	0.405
530	5.2	0.515	10.2	0.220	4.8	0.480	6.0	0.268	5.5	0.370	11.9	0.100	12.5	0.139	15.2	0.009	4.9	0.640	5.5	0.488
540	5.0	0.575	10.0	0.245	4.5	0.520	5.9	0.300	5.2	0.358	11.8	0.114	12.2	0.155	15.5	0.012	4.9	0.705	5.3	0.540
550	5.0	0.620	10.2	0.255	4.5	0.555	5.8	0.312	5.1	0.370	12.0	0.120	12.6	0.161	15.9	0.016	4.8	0.728	5.5	0.570
560	5.0	0.635	10.5	0.255	4.5	0.540	6.0	0.305	5.2	0.375	11.5	0.122	12.0	0.165	15.5	0.017	4.7	0.820	5.5	0.580
570	5.0	0.429	10.5	0.139	4.5	0.340	5.8	0.186	5.0	0.260	12.0	0.065	13.0	0.150	15.8	- -	4.8	0.515	5.3	0.410
580	5.5	0.195	11.2	0.020	4.5	0.085	6.3	0.037	5.8	0.065	14.5	- -	15.0	0.092	17.5	—	5.0	0.260	6.0	0.150
590	6.0	0.066	11.5	—	5.0	0.012	6.9	- -	6.0	0.005	15.5	- -	16.0	0.013	18.5	- -	5.5	0.135	6.5	0.070
600	6.0	0.060	11.0	—	5.0	0.003	7.0	- -	6.0	—	14.8	- -	15.9	- -	18.5	- -	5.2	0.140	6.5	0.061

T % = 反射率　D = 水溶性色素の吸光度

海苔の種付時期である9月下旬頃には23°Cから次第に低下し、養殖期間の1月頃には4°C内外に低下し、海苔の色澤は低下した。

塩素量の變化は養殖期間中は16～18‰で、この養殖場では17～18‰の範圍である。

特にこの年には10月下旬から11月上旬にかけて塩素量は18‰以上になり、水温は10月下旬には16°C内外に上昇した。

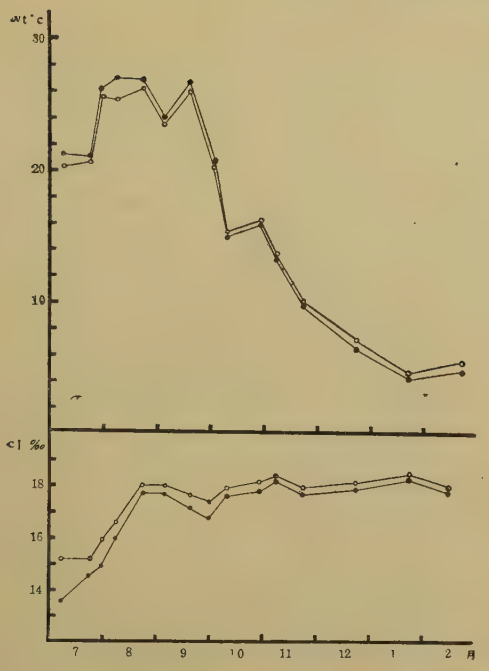
丁度この時期に成長が一時止まり、ヒビに附着した海苔の消失した場所があつた。11月13日に消失した場所の水質調査を行つた結果は、水温14.2°C、Cl 18.41‰、P 8γ/Lで、NO'_3–N・NH'_4–N・NO'_2–Nは殆ど皆無であつた。

この事から沖合水の浸入があつたものではないかと想像される。

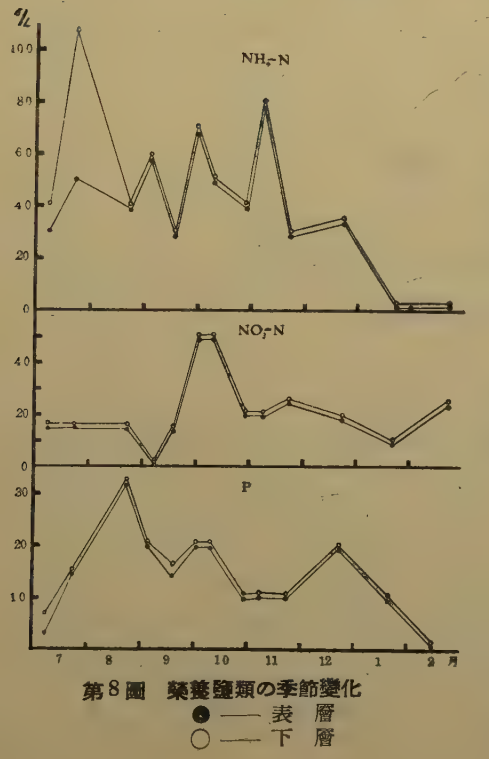
榮養塩中 NH'_4–Nの季節變化は最も複雜な消長が見られるが、1月以降急激に減少した。

NO'_3–Nは10月上・中旬頃最高値を示し、10月下旬から11月上旬に急激な減少があり、水温の低下する1月にはNH'_4–Nと同樣に減少した。

PO'''_4–Pは10月上・中旬



第7圖　水溫と塩素量の季節變化
● —— 表　層
○ —— 下　層



第8圖　榮養鹽類の季節變化
● —— 表　層
○ —— 下　層

頃20γ/Lであつたが、10月下旬～11月上旬にかけて塩素量の18‰以上になつた時期には $N_3'O$–N と同様に減少し、12月中旬頃には再び增加するが、1月以降には減少した。

海苔の色澤が低下する1月には、水溫は2～4°C内外に低下していた。養殖期間中初期より終期にかけて、海苔の脂溶性色素（λ430mμ）と水溶性色素（λ530mμ）の吸光度を見ると第7表のようになり、兩色素の吸光度は1月上旬頃より次第に減少し、色調は黃色に變化する。

第7表　海苔色素の季節變化

採取月日	Chlorophyll 及び Carotenoid	水溶性色素
	430 mμ (D)	530 mμ (D)
1954. 11. 9	0.080	0.670
12. 7	0.260	0.940
12. 13	0.740	1.220
12. 20	0.800	1.300
1955. 1. 4	0.520	0.690
1. 10	0.490	0.600
1. 20	0.110	0.270
2. 23	0.110	0.070

この1月中旬頃最も色澤が低下し、すつかり黃變した海苔を、榮養塩類（第8表）の多量な養殖場に1955年1月13日に移植し、兩色素の吸光度を測定した結果は第9表のようであつた。尙1955年2月9日に再び移植した結果も表示した。

即ち兩色素は5日～12日の間に次第に增加し、黃變した海苔は30日目には黑色に變化するのが觀察された。この間の水溫は2～4°C内外であつた。

尙水溶性色素の λ530mμ と λ620mμ の吸光度と、日數との關係を見ると、兩波長共吸光度は30日迄は次第に增加するが、40日以後には減少した。又 Chlorophyll 及び Carotenoid 類色素の吸收部の顯著な λ430mμ, λ480mμ 及び λ660mμ の各波長に於ける吸光度の變化を見ると、λ660mμ

の吸光度は水溶性色素と同様に30日迄は増加したが、それ以後は増加は見られない。他方λ430mμとλ480mμの吸光度は12日目までは増加しないが、それ以後は40日目まで増加し、50日目には水溶性色素と同様に減少した。

第 8 表

pH	Cl‰	NH_4-Nγ/L	NO_3-Nγ/L	NO_2-Nγ/L	PO_4-Pγ/L
8.3	16.94	600	40	10	100

第9表　經過日數による海苔色素の變化

色素 / 經過日數	Chlorophyll 及び Carotenoid 430 mμ (D)	水溶性色素 530 mμ (D)
移植前 (1955. 1. 13)	0.220	0.320
5 日目	0.200	0.500
12 〃 〃	0.180	0.580
30 〃 〃	0.550	1.200
40 〃 〃	0.570	0.780
50 〃 〃	0.410	0.490
移植前 (1955. 2. 9)	0.180	0.150
10 日目	0.200	0.240
20 〃 〃	0.310	0.820
30 〃 〃	0.640	1.200

同様に2月9日に移植した結果も、黄變した海苔は20日目には黒色に變化し、兩色素の吸光度は日數が經過するに從つて增加した。

これらの實驗例では、兩色素に及ぼす水溫の低下等に依る影響は、榮養塩の補給により回復出來る場合がある事を示すものと考えられる。この事實は後述の海苔培養實驗の際に再確認された。

尙松島灣內に於ては塩釜港內の一部分の養殖場を除いては例年1月上旬頃から海苔の色澤は低下し、特に松島地區及び濱田地區の養殖場は色澤の低下が最も早く、これらの養殖場に於ては榮養塩の不足が大きな原因と考えられる。即ち松島灣內に於ける海苔の生產は、環境要因に好變化がなければ、1月以降は期待出來ない。

III. 培養による色澤變化

前報に述べたように、海苔の窒素含有量3%以下になり、すつかり黄變した生海苔を、日乾しないで100Vの電球を照射して室內培養を行うと、30時間後には黒色に變化するが、60時間以後は葉體は枯死し白色に變化したので、更に培養方法について追究し、光の强さ・水溫とpH等の影響について實驗を行つた。

(1) 培養方法と色澤變化の決定

海苔の培養方法として、室內實驗の場合は硝子水槽を用い、實際に大量に行う場合には海水4斗及び1石入の平桶又は樽を使用し、時々上下の攪拌をしながら一定時間培養する簡單な方法を用いた。

培養のための光條件としては、室內では人工光線を水槽の上部より照射し、屋外の場合には太陽光線を利用して培養を行つた。

培養液は前報に於ては硝安(A)と尿素(B)を主劑として用いたが、60時間後には葉體が枯死したので、今回主に用いたのは次の組成のものである。

C.		D.	
$CO(NH_2)_2$	0.6g	$CO(NH_2)_2$	80g
$NaNO_3$	0.2	$NaNO_3$	20
KH_2PO_4	0.2	KH_2PO_4	16
$NaHCO_3$	0.1	$NaHCO_3$	8
$MgCl_2$	0.1	$MgCl_2$	8
$FeCl_3$(2%)	3drops	$FeCl_3$	2
sea water	1000cc	sea water	72 litter

培養後色澤變化の決定には、Chlorophyll 及び Carotenoid 類色素と水溶性色素の吸光度を測定して對照海苔と比較を行い、又乾海苔として反射率を測定して比較を行つた。

(2) 光の强さと水溫・pH の影響

光合成作用に對して光の强さ・炭酸塩の濃度及び水溫・pH の影響は最も重要な要因と考えられる。

筆者は色澤の低下した海苔を培養する場合、その色調を好轉させるにはどのような條件が最も適當であるかを知るために實驗を行つた。

(i) 光の强さ

人工光線として A-100V(SHL) 水銀電球・B-100V(500W) 晝光色・C-100V(100W) の3種類の光源を用いて實驗を行つた。

光の强さに關しては A・B・C の各電球について、20cm の距離で電氣露出計 (L-III) を使用して照度 (lux) を測定し、又硝子フイルターを使用して各波長の照度を測定した。

その結果 A は 6,000 lux、B は 2,500 lux、C は 2,000 lux で、A は最も强く、B・C は大體同樣な照度である。又硝子フイルターを用いて各波長の照度を測定した結果から、A の各波長に於ける照度を 100% として、B・C の光の透過率を見ると第10表に示すようになる。

第10表

電球	430mμ	480mμ	530mμ	580mμ	620mμ	660mμ
B	46.2	120.0	26.7	48.0	100.0	162.5
C	36.9	64.0	20.0	46.0	115.3	160.0

A の電球は黃綠色が强く、青紫色は弱い。B 及び C の電球は黃赤色が强く、又青紫色も各波長に比較して割合に强い。

このA・B・C の各電球を水槽の上部 20cm から照射して、培養液 (C)3L に生

第11表　Chlorophyll 及び Carotenoid の吸光度の變化

波長	培養 2 時間			培養 5 時間		
(mμ)	對照	A 100V-SHL	B 100V-500W	對照	A 100V-SHL	C 100V-100W
430	0.29	0.33	0.23	1.80	1.80	1.05
480	0.18	0.21	0.19	0.72	0.72	0.66
530	0.02	0.05	0.02	0.25	0.28	0.19
580	0.04	0.06	0.03	0.16	0.21	0.15
620	0.07	0.11	0.07	0.23	0.34	0.23
660	0.10	0.13	0.10	0.31	0.42	0.33

海苔50gを入れ一定時間培養し、Chlorophyll 及び Carotenoid 類色素の吸光度を測定した。

培養2時間と5時間についてAとB・Cを照射した海苔について比較して見ると第11表に示すように、何づれもAの電球を照射したものは、B・Cの電球を照射したものよりも、對照海苔に比較して色素は增加した。

即ち Chlorophyll 及び Carotenoid 類色素は、光の强弱によつても影響される。

(ii) 水溫と pH

海苔養殖期間中に於ける水溫は、松島灣内の養殖場では 2～23°C、pH は 7.9～8.4 の範圍である。

培養液中の水溫については 12～20°C 及び 1°C の 2 方法で培養を行つた。

培養液は C. の組成から $NaHCO_3$ を除き、KH_2PO_4 の量をかえて pH を約 7.5～7.6 にした培養液で實驗を行つた。

その結果は第9圖に示す通りである。

水溫 12～23°C と 1°C に於て、A の電球を照射した場合には、pH は見掛上水溫に關係なく時間が經過するに從つて上昇した。

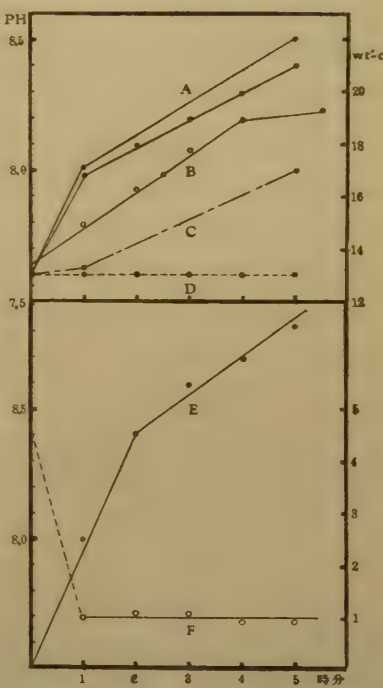
水溫 12～23°C で C の電球を照射したものは、pH は A の電球を照射したものよりも低く、電球を照射しないもの (D) は、pH は殆ど變化しなかつた。

即ち pH は光の强弱による同化作用の影響によつて變化したものと考えられる。

次に水溫 12～20°C に於ける A の電球を照射して培養を行つた海苔について、2 時間目・4 時間目・5 時間目の Chlorophyll 及び Carotenoid 類色素と水溶性色素の變化を見ると第12表に示すように、Chlorophyll 及び Carotenoid 類色素は時間が經過するに從つて增加した。

第12表　培養時間による色素の變化

波長	Chlorophyll, Carotenoid(D)				水溶性色素 (D)			
mμ	對照	2時間	4時間	5時間	對照	2時間	4時間	5時間
430	0.110	0.270	0.291	0.300	0.215	0.215	0.210	0.210
480	0.065	0 155	0.169	0.180	0.281	0.320	0.290	0.281
530	0.019	0.031	0.031	0.035	0.440	0.590	0.530	0.500
580	0.019	0.031	0.031	0.031	0.380	0.490	0.460	0.420
620	0.019	0.045	0.045	0.045	0.230	0.280	0.262	0.230
660	00.35	0.075	0.075	0.090	0.142	0.150	0.150	0.139



第9圖　培養液中の水溫とpHの變化
A——pH——100V (SHL)
B. F——○——水　溫
C——pH——100V(100W)
D……●……對　照
E——pH——100V (SHL)

水溶性色素は水溫16°C, pH8.1 た。

第13表　水溫1°Cに於ける色素の變化

波長	Chlorophyll, Carotenoid(D)		水溶性色素(D)	
mμ	對　照	5時間	對　照	5時間
430	1.100	1.200	0.280	0.332
480	0.570	0.650	0.400	0.500
530	0.120	0.161	0.785	1.000
580	0.169	0.215	0.590	0.750
620	0.290	0.350	0.310	0.400
660	0.415	0.485	0.170	0.210

以下の 2 時間目には最も增加したが、水溫 17°C. pH8.3 以上の 4 時間目以後は順次減少した。

更に第9圖に示した水溫 1°C で培養を行つた海苔について5時間目の兩色素の變化を見ると第13表に示すようになり、この培養海苔に對しては水溫 1°C に於ても兩色素は增加し、榮養塩を吸收することは明らかである。

然しながらこの海苔を60時間以上培養すると枯死したので、(C) の培養液（即ち HCO_3' を含む）で、水溫 6～10°C で培養を數回行つた結果、pH は 8.0 以上に上昇せず、60 時間以後に於ても海苔は枯死しなかつた。

即ち培養液中に HCO_3'[6] の存在は同化作用を促進し、又 CO_3'' との混合による緩衝能の大きい事は pH の變化を緩やかにするものと考えられる。

尙 $NaHCO_3$ を含まない液では同化作用によつて CO_2 が消費され、pH は 9 以上に上昇することは海苔を枯死[7] させる一因となり得るものと考えられる。

又水溫については海苔の培養は液の溫度が 18°C 以上になると、水溶性色素は減少し、葉體が弱つてくることから、培養液の溫度は 15°C 以下が適當であり、又 pH はこれまでの結果からみて、弱アルカリ性に保つことが必要と思われる。

IV. 海苔の色澤改善方法

以上の實驗結果から、海苔の色澤は水溫低下とは關係少なく、主として海水中の榮養塩と光の影響によつて左右されるものであると考えられるので、その色澤改善の第1次の方法として、養殖場に於て施肥及び葉面撒布を行うことも一つの方法であるかもしれない。

筆者の考案した固型肥料による施肥方法は、潮流の早い養殖場では施肥効果がなく、又肥効範圍が狹い缺點がある。

葉面撒布の方法が改善され實用化すれば、之も簡單な方法の一つであるが、現在では餘り著しい色調の變化は見られない。

そこで採取した生海苔を培養することによつて色澤の變化が顯著であるならば、之が最も實用化の可能性がある。

培養方法としては、生海苔を摘採後室內及び屋外で培養する方法。又生海苔を摘採しながら船上で太陽光線を利用して培養する方法等も考えられる。

以下に 2・3 の實驗を行つた結果を述べる。

先づ松島灣內濱田浦で1954年11月26日(A)、12月18日(B)及び1955年3月中旬(C)採取した色澤

の低下した海苔を用いて培養を行つた。

（A）は培養液4斗に對して生海苔1貫500匁（水切後の重量）、（B）は1石に對して生海苔7貫匁を漬込み、光源として水銀電球（A）を上部より照射して、時々上下の攪拌を行つて一定時間培養した。

（C）は培養液5斗に對して生海苔5貫匁を漬込み太陽光線下で培養した。

これらの（A）・（B）・（C）の海苔について、Chlorophyll 及び Carotenoid 類色素と水溶性色素の吸光度を測定して色澤の變化を比較すると第14表のようになる。

第14表　培養海苔の色素變化

色素	Chlorophyll 及び Carotenoid の吸光度						水溶性色素の吸光度					
培養海苔	A		B		C		A		B		C	
培養時間 / 波長 mμ	對照	5時間	對照	2時間	對照	5時間	對照	5時間	對照	2時間	對照	5時間
430	0.44	0.52	0.57	0.62	0.46	0.58	0.26	0.27	0.32	0.39	0.26	0.25
480	0.28	0.35	0.32	0.38	0.26	0.33	0.34	0.35	0.47	0.55	0.30	0.26
530	0.05	0.07	0.03	0.05	0.02	0.03	0.55	0.55	0.86	1.00	0.41	0.26
580	0.04	0.05	0.02	0.02	0.01	0.03	0.43	0.45	0.70	0.82	0.29	0.21
620	0.05	0.08	0.05	0.06	0.04	0.05	0.22	0.25	0.40	0.49	0.13	0.13
660	0.09	0.11	0.09	0.09	0.06	0.10	0.16	0.16	0.22	0.26	0.11	0.10

（A）と（B）の培養海苔の色素は何づれも對照海苔に比較して稍々增加し、色澤の好轉が見られた。

（C）の培養海苔は Chlorophyll 及び Carotenoid 類色素は稍々增加したが、水溶性色素の變化は見られなく、餘り著しい色澤の變化は見られなかつた。更にそれらの培養海苔を乾海苔製品として、反射率を測定して比較すると第15表のように、（A）の培養海苔は著しい變化が認められるが、（B）と（C）の培養海苔は著しい變化は見られなかつた。

次に1955年3月氣仙沼灣内の2・3の養殖業者に培養試驗を依賴して、培養に對する生海苔の量・培養條件及び培養海苔に對する價格差について調査した結果を第16表に示した。

以上の結果から、培養する生海苔の量は、海水4～5斗に對して約3貫位が適當と思われる。又養殖場に於て或る程度の色素と窒素量を含有する海苔に對しては、培養によつて短時間内に色澤改善の可能性が認められる。

然しながら海苔の窒素含有量が3％以下にな

第15表　乾海苔の反射率の變化

試料 / mμ	A		B		C	
	對照	5時間	對照	2時間	對照	5時間
500	9.0	8.2	6.0	6.0	8.0	8.0
520	12.0	11.0	7.1	7.0	12.0	11.8
540	11.2	10.5	6.8	6.1	12.2	11.8
560	11.0	10.0	6.5	6.0	12.0	11.5
580	14.0	12.8	7.9	7.5	15.0	14.5
600	15.2	13.5	8.0	7.9	15.9	14.8
620	14.2	13.8	8.0	7.8	14.8	14.0
640	15.2	15.0	8.9	8.5	16.0	15.8
660	12.0	12.0	7.2	7.1	11.0	11.0

第16表　海　苔　の　培　養　實　驗　例

海苔採集所 年月日 天候	海苔採集後 培養までの 時間	培養器	培養液の量	生海苔の量	培養時間	太陽光線 又は電灯	入札値段の差 (100枚につき)
梶ヶ浦 1955. 3.13 晴	2 時間後	桶	5 斗	3 貫	10 時間 14 時間	100W電灯 太陽光線	30圓～50圓
磯草 1955. 3.15 晴	2 時間後	桶	5 斗	5 貫	2 時間 40分	太陽光線	75 圓
氣仙沼灣 1955. 3.17 晴	4 時間後	桶	4斗5升	3 貫 500	時間	100W電灯	2 割の差
岩月 1955. 3.15 晴	3 時間後	平桶	5 斗	2 貫 500	5 時間 8 時間	太陽光線 太陽光線	10 圓 20 圓
松岩 1955. 3.26 晴	30 分後	平桶	5 斗	2 貫	6 時間	太陽光線	80～100圓
七半澤 1955. 3.27	1 時間後 2 時間後 3 時間後	桶	2斗5升	4貫(2貫) 4貫(2貫) 4貫(2貫)	1 時間 3 時間 24 時間	太陽光線 太陽光線 電灯	1圓 50圓 9圓 71圓 18圓 59圓

り、すつかり黄變した海苔は長時間培養しなければ顯著な色澤變化は見られない。

即ち培養する海苔に對しては、養殖場に於て或る程度の色素と窒素量を保持するような方法と對策が必要と考えられる。

以上の事實より、海苔の色澤は培養する海苔即ち幼葉・老葉又それ迄の榮養環境によつて異なることは當然であるが、培養液に對する生海苔の量・培養時間・光の影響等によつても、製品の色澤は相違する事が結論される。

V. 摘　　要

養殖海苔及び培養海苔の色澤に關する、Chlorophyll 及び Carotenoid 類色素と水溶性色素の變化について檢討した。

1) 海苔の色澤は Chlorophyll 及び Carotenoid 類色素と水溶性色素の變化に左右される。

2) 海苔の色澤は海水中の榮養塩の消長に一致する。

3) 海苔の Chlorophyll 及び Carotenoid 類色素は光の强弱によつて影響される。

4) 培養液中に $NaHCO_3$ を加えないで培養すると、pH は水溫に關係なく時間の經過するに從つて上昇した。

5) $NaHCO_3$ を加えた培養液で水溫 10°C 以下に於て培養すると、pH は 8 以上に上昇せず 60 時間以後にても海苔は枯死しなかつた。

終りに本研究を行うに當り終始御指導を頂いた本所增殖部長谷田專治博士、乾海苔製品の色澤

鑑識について御教示を頂いたお茶の水女子大學矢部章彦助教授・實驗には和田宣孃の御助力を頂いた。又本研究の一部は東洋高壓株式會社よりの研究費に依つた。ここに深く感謝する。

文　　献

1) 東北水研研究報告（4）　p. 246
2) 富士川　潔（1932）　海苔の生育條件と葉綠素の消長に就て　朝鮮水試報告.,（7）128
3) 山川健重（1953）　海藻の化學的研究　I 各種アサクサノリの成分　日水誌.,　**18**（10）36
4) 小幡彌太郎・小　西　貞（1949）　淺草海苔の顯色について　日水誌.,　**15**（4）199
5) A. O. A. C（1950）　Photoelectric colorimetric method for Total chlorophyll only　11-115
6) 坂　村　徹（1948）　植物生理學　225
7) 尾形英二・永　井　進（1954）　アサクサノリ細胞の被害の判定について　大阪市立大學（理工學部）., 生理生態 **6**（1）10
8) 高木光造（1953）　海藻カタラーゼに關する研究　第1報各種海藻のカタラーゼ作用方に就て　日水誌., **18**（10）41
9) 富士川　潔（1932）　朝鮮海苔生理に關する研究（第4報）　朝鮮水試報告.,（7）79
10) 新崎盛敏（1953）　海藻胞子の發芽生育に及ぼす光の影響に關する二三の實驗　日水誌., **19**（4）466
11) 野澤治治・野澤ユリ子（1955）　海藻の原形質に關する研究　—1　日水誌.,　**20**（10）878
12) 高木光造・村田喜一（1954）　海藻の窒素同化機構に關する研究　—III 硝酸還元酵素の最適 pH に就て　北大水產彙報.,　**4**（4）310

內灣底土中の可溶性榮養塩について※
第4報　底土と海水間における可溶性無機燐の行動に關する一實驗

奥　田　泰　造

ON THE SOLUBLE NUTRIENTS IN BAY DEPOSITS
IV. AN EXPERIMENT ON THE BEHAVIOR OF PHOSPHATE-PHOSPHORUS BETWEEN MUD AND SEA WATER

By

Taizo OKUDA

It seems that phosphorus, as well as various other elements, maintains a state of equilibrium between the mud and the overlying sea water. This equilibrium may be controlled by many factors, among which those of temperature and pH etc. were studied. Other factors such as the physico-chemical properties of the mud will be discussed in the future.

I. On the exchange of phosphorus during the shaking treatment after the addition of sea water to mud.

5g. of fresh mud was weighed in a flask, then 100cc of the sea water was added. After shaking, the turbid liquid was filtered through a filter paper and the filtrate was analysed by the Denigés method with the following results:

(1) The process of rate which reaches an equilibrium of phosphorus during shaking treatment varied with the muds sampled from the various stations. In the cases of the addition of sea water, which contain none and 150γ/L PO_4'''-P respectively, the former liberated phosphorus from mud while in the latter case phosphorus was absorbed by mud generally. (cf. Table 1)

(2) In the case of adding sea water which contained various concentrations of phosphorus, after shaking, the range of phosphorus concentration in the sea water became narrower than that of the initial state. This fact may be analysed as follows: in the case of the lower concentration of phosphorus, the phosphorus liberation from mud proceeded more actively than in the case of the higher concentration, on the other hand, when the concentration of phosphorus in sea water was very high, the phosphorus absorption by mud proceeded actively or the liberation from mud proceeded more inactively than in the former case, therefore the phosphorus tends to reach an equilibrium concentration. There was much difference in the tendency of the phosphorus liberation or absorption between both samples

※東北海區水產研究所業績　第66號

used in this experiment. (cf. Table 2)

(3) In the case of adding sea water of various pH (6.9～9.0) free from phosphorus, the phosphorus liberation from mud was abundant in the range from pH 8.0 to 9.0, comparing with the case of the lower pH. (cf. Table 3)

II. On the exchange of phosphorus during standing after the addition of sea water to mud without shaking.

20 g. of fresh mud was weighed in the cylindrical bottle about 5cm in diameter, then 130cc of sea water was added carefully and the bottle was kept without shaking. After standing, the supernatant clear liquid was siphoned through a filter paper and then analysed. The surface muds (0～1cm) were used in this experiment, as it may play an important rôle in the exchange of phosphorus between the mud and the overlying sea water.

The following results were obtained.

(1) On the phosphorus absorption by mud from sea water, the effect of the standing after the addition of sea water (150γ/L PO_4'''-P) was examined. Consequently the phosphorus absorption varied according to the differences in the standing time and of the muds sampled from various stations. (cf. Table 4)

(2) After standing for 24hrs, an equilibrium concentration of phosphorus varied remarkably in the muds sampled from various stations. (cf. Table 5)

(3) Some correlation was recognized between the phosphorus absorption of mud and its content in the centrifugally separated liquid of mud. (cf. Fig. 3)

(4) It was recognized that an equilibrium concentration of phosphorus tends to become high with the rising pH value of sea water. (cf. Table 6)

(5) The temperature coefficient of the equilibrium was significant. (cf. Table 7)

Appendix: The team of "equilibrium concentration of phosphorus" expressed in this paper, means the phosphorus concentration of the sea water which was unchanged during the standing experiments in contact with mud.

緒　　論

これまでの報告で、[1) 2),3)] 1) 無機燐はアムモニア態窒素や珪酸塩と共に、概して底土の深層部には濃密で、表層はその含量が小さいことが多く、燐含量の高い底土を耕耘することによつて、燐は海水中へ溶出されること。2) 燐含量の高い泥土をシリンダーに詰めて、燐を含まない海水を加えると、比較的急速に海水中へ燐は擴散溶出すること。3) さらにまた干潟の表層泥中の無機燐は干出後增加し、冠水すると海水中へ急速に溶出することが知られた。

筆者の實驗對照となつている松島灣の底質は、大部分微細な泥土からなつており、しかも水深が淺いため風波の立つときには浮游泥が極めて多い。この灣で秋から冬にかけて養殖される海苔は、時化の後に色澤が一段と良好となるということは、往々海苔業者から聞かれることである。

若しこの様な事實があるとすれば、陸上からの榮養塩の供給と共に、浮游泥の湧起によつて海水中へ泥土から榮養物質が溶出することも、これまでの實驗結果から容易に想像される。

一方土壤がアニオン中燐酸イオンを、極めてよく吸收することは一般に知られている。五十嵐・黑田(1934)は河川の底土が、溶解性燐酸を消費することについて實驗を行つた。またStephenson (1953) は泥土に海水を添加し攪拌すると、海水中の燐酸イオンは泥土によつて吸收される場合のあることを報告している。

水界に於ては底土中の燐酸イオンは、その接している水との間では他の成分と同様に、水と底土の物理化學的な條件及び微生物學的要因に應じて、或る程度可逆的な平衡關係を有するものと考える。本報告は海水の pH 並びに燐酸含量の變化等を人工的に調節して、主として海水と泥土との接觸條件と、その平衡との關係について、松島灣內の泥土を用い、室內での一・二の實驗を行つたものである。なほ泥土自體の性狀との關係については、別の機會に檢討したいと考えている。試泥の採取地點は第1圖に圖示した。

第1圖　採　泥　地　點
Fig. 1　Location of sampling of bottom muds in matsushima bay.

本文に入るに先立つて、種々懇切なる御指導を賜わり、また本稿の御校閲をして下さつた、理學博士谷田專治增殖部長並びに谷井潔利用部長の兩先生に對して、衷心から感謝の意を表します。

實驗方法並びに實驗結果

I　底土に海水を添加し振盪した實驗

泥土と海水中の燐との反應について、二・三の條件との關係を知る目的で、濕泥 5g を共栓三角フラスコにとり海水 100cc を添加して振盪後、濾過してその濾液中の燐含量を、Denigès 法によつて比色定量した。この場合振盪に當つては、3 分間のものは手で、30～120 分間の場合は廻轉式振盪器によつた。添加海水は全て人工海水を用い、特に pH を種々變えてその影響を檢討した場合以外は、pH を 8.2 に調節した。

以下に燐の泥土からの溶出(量)とか泥土による吸收(量)と記したが、これは海水と泥土の靜置接觸中、或は振盪處理の前後に於ける海水中の燐含量に關して、夫々見掛上前者では處理後增加した場合であり、後者では減少したことを意味する。

第1表　燐の溶出・吸収えの振盪時間の影響

Table 1　Influence of time for shaking on liberation or absorption of phosphorus between mud and sea water.

Initial phosphorus content in added sea water γ/L		None			150					
Sample No.		4	5	6	4		5		6	
Depth of mud cm	Time of shaking m in / Measured value after shaking treatment γ/L	Content	Content	Content	Content	Variation	Content	Variation	Content	Variation
0～0.5	3	100	200	25	170	+20	210	+60	77	− 73
	30	100	200	12	170	+20	210	+60	56	− 94
	60	100	200	7	170	+20	210	+60	28	−122
	120	100	200	5	160	+10	210	+60	18	−132
0.5～5	3	81	180	70	130	−20	210	+60	110	− 40
	30	72	140	65	95	−55	200	+50	100	− 50
	60	51	130	50	71	−79	200	+50	64	− 86
	120	50	120	36	58	−92	180	+30	43	−107
5～10	3	51	89	140	100	− 50	150	0	210	+ 60
	30	32	60	130	64	− 86	93	−57	190	+ 40
	60	22	49	130	44	−106	79	−71	190	+ 40
	120	18	44	130	35	−115	62	−88	195	+ 45
10～20	3	80	72	190	150	0	120	− 30	220	+ 70
	30	66	26	200	140	− 10	51	− 99	220	+ 70
	60	55	21	200	110	− 40	38	−112	220	+ 70
	120	45	21	190	82	− 68	31	−119	220	+ 70

pH of added sea water —— 8.2

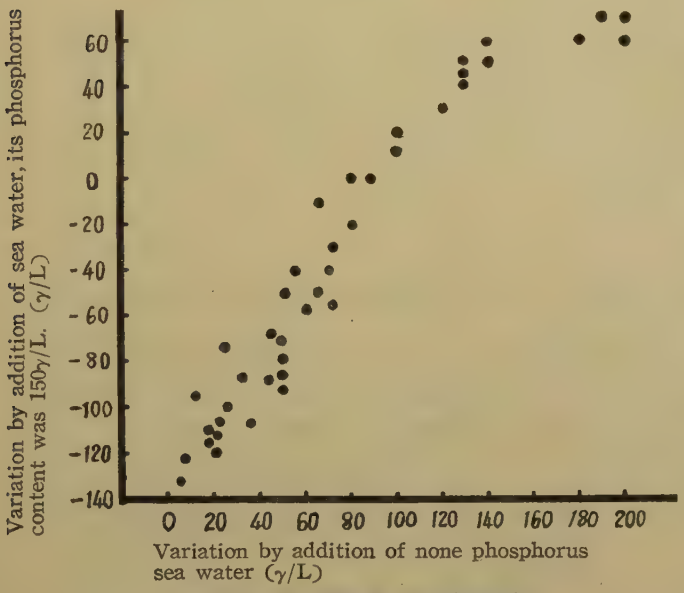
(1) 種々の振盪時間で振盪した場合

No.4,5 及び 6 の試料を表面から 20cm までの深さにとり、第1表に示した如く 4 層に區分して實驗に供した。振盪時間は 3, 30, 60 及び 120 分とし、添加海水は燐を含まないものと、150γ/L の燐を含むものを用いた。

その結果は振盪時間が長くなるに從つて、3分間振盪の際の添加海水の燐含量よりも減少し、見掛上泥土によつて燐が吸收されていく傾向にあるものと、殆んど燐含量の變らない場合のあること、しかも變化する場合でも漸次增加していく場合のないことが先づ注目される。即ち燐を含まない海水を添加した場合には、No.4,5 の試料では第1層（0～0.5cm）の泥土からの燐溶出量は振盪時間によつて變らず、第2層以下（0.5～20cm）では3 分間振盪時の海水中の燐含量よりも、振盪時間の經過と共に燐含量は減少し泥土によつて吸收される傾向を示している。また No.6 については、振盪時間の經過によつて燐含量の大きな變化は、第 3,4 層（5～20cm）ではみられず、第 2 層以上(0～5cm)では漸次減少している(即ち泥土によつて吸收される)。150γ/L の燐を含む海水を添加した場合にも、同樣に No.4,5 は第 2 層以下が、No.6 は第 1,2 層が振盪時間の經過と共に、泥土によつて燐の吸收される傾向は著しく大きく、他の層では餘り顯著な傾向はみられた

い。従つて振盪時間の經過と共に、泥土によつて燐の吸收される傾向は、或る場所では表層部が、また或る場所では下層部のものが大きくなつて、ここでは一樣の傾向は認められない。しかし何れの場合にも、この實驗の範圍では、その大きな變化（吸收傾向）が表層部にある場合には漸次深層部へ、また深層部にある場合には漸次表層部へと、その變化割合が減少していき、法則性が存在する樣に見える點が留意される。

各試料の間で、その溶出量並びに吸收量に大きな差のあることも留意される。また 150γ/L の燐を含む海水で振盪しても、なお或る場合には泥土から燐が、溶出して來ることが知られるが、それらの例は何れも、燐を含まない海水を加えたとき、概して溶出量が高い場合であつた。



第2圖　燐の溶出量と吸收量の關係

Fig. 2　Relation between the phosphorus liberation and absorption in the cases of adding sea waters, their phosphorus contents are none or 150γ/L. (This figure was plotted from Table 1)

次にこの實驗で添加した海水が、燐を含まないときと、150γ/L の燐を含んだ場合の振盪後の變量について、それらの間の關連性の有無を知るために第2圖にその關係を圖示した。その結果前者で溶出量の大きいものほど、後者では吸收量が小さいか、或は溶出量が增加する傾向があり、兩處理の測定値間には、明かな相關性が認められる。こうした關係は、泥土から燐の溶出したり吸收したりすることが、この樣な條件に於ては一連の機作によつておこなわれることを意味しているのかも知れない。

（2）種々異つた燐含量の海水を添加した場合

No. 3, 6 の試料を表面から 10cm 層まで、3 層に分けて採泥し實驗に供した。添加海水は燐含量を 5～100γ/L まで6段階に調製し、振盪時間を3分間とした。

その結果は第2表の如くで、No. 3 では 5γ/L から30γ/L までは泥土から燐が溶出したが、その溶出量は添加海水の燐含量の增加と共に小さくなり、また 55～100γ/L の範圍では、泥土によつて海水から燐を吸收し、添加海水の燐含量の增加に從つて、その吸收量は大きくなる傾向がみられる。一方 No. 6 では No. 3 に反して、この範圍の添加海水の燐含量では吸收することがなく、溶出するだけであつた。そしてその溶出量は添加海水の燐含量の增加に從つて、減少する傾向がみられた。恐らく添加海水の燐含量が、さらに高くなる場合には、漸次吸收していくもの

第2表　種々の燐含量海水を加えた場合に於ける燐の溶出並びに吸収

Table 2　Influence of initial phosphorus contents in added sea water on liberation or absorption of phosphorus between mud and sea water. (shaking treatment)

Initial phosphorus content in added sea water γ/L		5		15		30		55		80		100	
Measured value after shaking γ/L / Sample No. / Depth of mud cm		Content	Variation	Content	Variation	Content	Variation	Content	Variation	Content	Variation	Content	Variation
3	0～1	33	+28	28	+13	33	+ 3	39	−16	38	−42	50	−50
	1～5	35	+30	30	+15	33	+ 3	44	−11	42	−38	51	−49
	5～10	39	+34	40	+25	49	+19	55	0	63	−17	75	−25
6	0～1	60	+55	82	+67	85	+55	94	+39	92	+12	110	+10
	1～5	56	+51	72	+57	70	+40	85	+30	93	+13	105	+ 5
	5～10	100	+95	97	+82	100	+70	120	+65	130	+50	150	+50

Time for shaking —— 3min
pH of added sea water —— 8.2

かも知れない。

添加海水の燐含量の最大・最小の差は95γ/Lであるが、振盪處理後の海水中の燐含量の差は、No.3では21～36γ/Lで、No.6では49～53γ/Lとなり、著しくその幅が小さくなつている。これは前述の様な溶出・吸收の結果に基くものであろうが、極めて興味深いことである。

第3表　燐の溶出・吸收に及ぼす添加海水の pH の影響

Table 3　Influence of pH of added sea water on phosphorus liberation between mud and sea water.

Depth of mud cm		0～0.5		0.5～5		5～10		10～20	
Time of shaking min / pH of added sea water / No. of sample		3	60	3	60	3	60	3	60
4	6.9	39	36	30	28	19	16	43	25
	7.1	44	36	36	22	23	14	36	23
	7.6	42	32	41	27	22	14	30	23
	8.0	99	99	81	51	47	23	80	56
	8.5	53	110	50	69	28	32	41	56
	9.0	64	85	71	68	13	27	50	55
5	6.9	68	60	65	42	21	12	24	13
	7.1	84	65	79	40	26	17	24	12
	7.6	93	69	84	43	29	18	26	13
	8.0	200	200	180	140	89	48	65	25
	8.5	100	210	120	170	38	64	29	31
	9.0	190	200	190	160	85	56	60	26

(3) pH の異つた海水で振盪した場合

松島灣ではアマモが密生している場所が多く、アマモの最盛期には、密生地の海水の pH は 9.0 を超えることもある。また塩釜港奥部では淡水・汚染水の流入のため、pH が 7.0 程度の値を示すことがある。それで海水の pH の範圍を 6.9～9.0 の範圍で 6 段階として、No.3, 6 の試料を用い、燐を含まない海水を添加して、燐の溶出量えの pH の影響を檢討した。なお振盪時間は 3 分と 60 分で行つた。(第 3 表)

その結果多くの場合、添加海水の pH が 6.9 から 7.6 までは、pH の增加によつて泥土からの燐の溶出量が、僅かながら大きくなる傾向がみられ、pH 7.6 から 8.0 に及んで急激に溶出量が增加している。また pH 8.0～9.0 ではほぼ同樣の値を示している。但し 3 分間振盪の場合、その理由は不明であるが、pH 8.5 の値が pH 8.0 や 9.0 に比して、著しく小さくなつていて、それが 60 分間振盪の場合には、pH 8.0 や 9.0 と同樣の値に達している。

上記の樣に海水の pH の違いによつて、振盪中に泥土から溶出する見掛上の燐の量は異なる樣で、その傾向は種々の深さからとつた泥土の間でも一樣であつた。

II　底土に海水を靜かに添加し靜置しておこなつた實驗

以上の實驗は泥土に海水を加えて、强く振盪しておこなつたものであるが、自然狀態における底土と海水間の燐の平衡關係について、いくらかでもそれに近い條件で知りたいと思い、徑約 5 cm の管瓶に泥土を 20g 詰め、それに出來るだけ靜かに海水を添加して靜置した。24 時間靜置後上澄海水を濾過し、海水中の燐含量を測定した。また底土と海水間の燐の動きについては、海水と常に接觸している底土表層部の働きが、より大きくまた重要であると考えるので、この實驗では表層泥を用い、採泥直後實驗を行つた。

(1) 靜置時間を變えておこなつた場合

No. 1, 2, 3 並びに 6 の試料を用い、靜置接觸時間を 6, 12, 24 時間として、150γ/L の燐を含む海水を添加して實驗を行つた。(第 4 表)

第4表　燐の吸收に及ぼす靜置時間の影響

Table 4　Influence of time for standing on phosphorus absorption by mud.

Standing time hr.	6		12		24	
Measured value after standing γ/L / No. of sample	Content	Variation (decrease)	Content	Variation (decrease)	Content	Variation (decrease)
1	120	−30	100	−50	90	− 60
2	90	−60	60	−90	50	−100
3	130	−20	110	−40	90	− 60
6	130	−20	110	−40	100	− 50

pH of added sea water —— 8.2.　　Depth of mud —— 0～1cm
Initial phosphorus content —— 150γ/L

その結果こうした條件でおこなつた場合も、振盪處理した場合と同樣に、燐を吸收する量並び

にその速度過程は、試料によつて可なり異なる様である。何れの場合にも、靜置後6時間での吸收量が、24時間後に吸收された量の約半量前後の値を示し、比較的迅速に吸收されることを示している。No.2 のアマモの密生地から得た試料が、最も吸收量が大きく、しかも最初の6時間で、他の試料の2,3倍の量が吸收されたことは注目される。

(2) 燐含量の種々異つた海水を添加した場合

振盪處理した實驗で、海水中の燐含量が低い場合には、振盪中に泥土から燐が溶出し、燐含量の高い場合には、燐を吸收する傾向がみられた。燐含量の異なる海水を添加して靜置し、泥土からの溶出・吸收の過程について、海水中の燐含量と關連して檢討した。實驗は No.1,2,3,6 並びに7の試料に、6γ/L～100γ/L の 6 段階の燐含量をもつ海水を添加して24時間靜置した。

泥土と海水間に於ける、燐の泥土からの溶出反應と、泥土による吸收反應が平衡を保つとき、即ち靜置處理の前後で、添加海水の燐含量が變らなかつたときの、海水中の燐含量を便宜上本報告では、**平衡濃度**と呼ぶこととした。

實驗結果は第5表に示した如くで、平衡濃度は各試料によつて著しく異なり、No.2 の試料が最もその濃度が低く、次いで No.1,3,6,7 の順となり、No.2 の値が 6γ/L 前後であるに反し、No.7 の試料では 40γ/L 以上の濃度を示した。即ち No.2 は添加海水の燐が 6γ/L では靜置前後の値は變らず、15γ/L 以上の含量では含量の增加と共に、次第に吸收量が大きくなつている。それが No.1 では 15γ/L まで、No.3,6 では 24γ/L まで、No.7 では 42γ/L までそれぞれ燐は溶出し、それら以上の燐含量の海水を添加した場合には吸

第5表　種々の燐含量の海水を添加した場合の燐の溶出並びに吸收

Table 5　Influence of phosphorus content in added sea water on liberation or absorption of phosphorus between mud and sea water. (standing condition)

No. of sample	Initial phosphorus content in added sea water γ/L	6		15		24		42		70		100		Phosphorus content in centrifugally separated solution of mud γ/L
	Measured value after standing γ/L	Content	Variation	Content	Variation	Content	Variation	Content	Variation	Content	Variation	Content	Variation	
1		8	+2	15	0	22	−2	34	−8	53	−17	72	−28	64
2		6	0	10	−5	12	−12	27	−15	45	−25	63	−37	60
3		10	+4	20	+5	24	0	32	−10	56	−14	75	−25	90
6		9	+3	19	+4	27	+3	36	−6	60	−10	80	−20	210
7		18	+12	25	+10	30	+6	45	+3	64	−6	82	−18	150

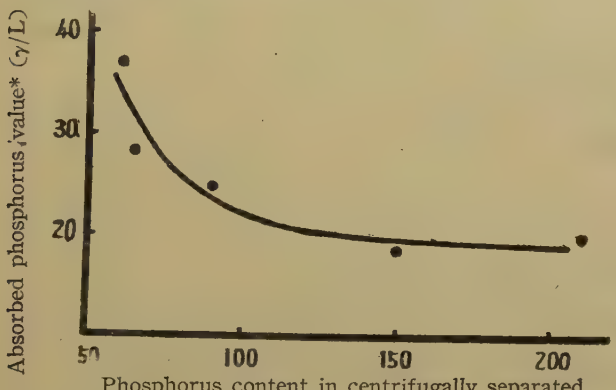
pH of added sea water —— 8.2.　　Time for standing —— 24hrs.
Depth of mud —— 0～1cm.

收し、燐含量の增加と共に吸收量が增加している。この場合平衡濃度の小さい No. 2 の試料が、最も燐を吸收しうる狀態にあり、また No. 7 では泥土に加えた海水が、可なり燐を含有しない限り、吸收しないで溶出する傾向を有すると云えるであろう。

(3) 泥土中遊離水の燐含量と燐の平衡濃度並びに吸收量との關係

前實驗に於いてみられた樣に、各試料によつて燐の吸收量並びに平衡濃度を異にするが、その要因については、泥土自體の種々の物理化學的性狀、並びに微生物學的要因を檢討せねば明かにしえないと考えるが、泥土中の遊離水に含まれている燐量と、吸收量並びに平衡濃度との間の關係の有無について檢討した。泥土中の遊離水の燐含量は、新しい試料を遠心分離機にかけて、分離した液について求めた。その値は第5表に示した。

遊離水中の燐含量は、港奥の No. 6, 7 の地點からとつた試料が、他の 3 試料に比して著しい高い値を示している。次いで No. 3 で、No. 1, 2 の試料が最も低い値を示した。これらの値は上記の平衡濃度と略比例する樣である（但し No. 6 と 7 では少しく不規則）。



第3圖　泥土の燐吸收量と泥土中遊離水の燐含量との關係

Fig. 3　Relation between phosphorus absorption of mud and phosphorus content in centrifugally separated solution of mud. (This fugure was plotted from Table 5)
*Initial phosphorus content in added sea water —— 100γ/L.

また 100γ/L の燐を含む海水を添加した場合に吸收された燐量と、遊離水中の燐含量との關係については第 3 圖に示したが、略負の相關性を有する樣である。泥土の遊離水或は間隙水中に、燐を多く含有する場合には、その平衡濃度が高く、そして吸收量が小さくなる傾向にあり、逆に燐含量の小さい場合には反對の傾向を有するものと考えられる。

(4) pH の種々異つた海水を添加した場合

添加海水は燐含量を 2～100γ/L の範圍で 6 段階のものを準備し、その各含量の海水の pH を 7.2～9.0 まで 5 段階に調整した。使用した試料は No. 6 からとつた表層泥で pH は 7.6 であつた。實驗に當つて、24時間の靜置中に、pH 8.2 以上の場合には、海水の pH が少しく低下し、pH 7.2 のときには少しく高くなつた。

その結果は第 6 表の如くで、何れの含量の場合も、24時間靜置後の海水の燐含量は、pH 7.2 の場合が最小で、pH の增加と共にその燐含量は高くなる傾向にある。即ち pH の增加は、添加海水の燐含量が 25γ/L 以下の場合は、溶出量を增加せしめ、53γ/L 以上の場合には、吸收量を減少せしめる傾向を示した。このことは換言すると、この範圍の pH では pH の高い程、燐の

溶出・吸收の平衡濃度が高くなる様である。

(5) 作用溫度を變えて靜置した場合

靜置中の溫度條件が、燐の泥土からの溶出，泥土による吸收に及ぼす見掛上の影響をみるため

第6表　燐の溶出・吸收に及ぼす添加海水のpHの影響

Table 6　Influence of pH of added sea water on liberation or absorption of phosphorus between mud and sea water. (standing condition)

Initial phosphorus content in added sea water γ/L	2		12		25		53		78		100	
Measured value after standing γ/L / pH of added sea water	Content	Variation	Content	Variation	Content	Variation	Content	Variation	Content	Variation	Content	Variation
7.2	7	+ 5	14	+ 2	24	− 1	38	−15	53	−25	76	−24
7.7	10	+ 8	17	+ 5	27	+ 2	41	−12	56	−22	80	−20
8.2	11	+ 9	17	+ 5	27	+ 2	43	−10	59	−19	81	−19
8.6	13	+11	18	+ 6	29	+ 4	48	− 5	62	−16	88	−12
9.0	13	+11	20	+ 8	35	+10	49	− 4	64	−14	91	− 9

Mud used in this experiment was taken from St. 6.
Time for standing —— 24hrs.　　Depth of mud —— 0～1cm

溫度を 5, 10, 15, 21 及び 27°C にそれぞれ保つて 24 時間靜置した。この實驗には No. 6 の試料を用い、その結果は第 7 表に示した。

第7表　燐の溶出・吸收に及ぼす溫度の影響

Table 7　Influence of temperature during standing condition on liberation or absorption of phosphorus between mud and sea water.
Mud used in this experiment was taken from St. 6.
pH of added sea water —— 8.2.　Time for standing —— 24hrs.
Depth of mud —— 0～1cm.

Initial phosphorus content in added sea water γ/L	2		100	
Measured value after standing γ/L / Temperature °C	Content	Variation	Content	Variation
5	7	+ 5	80	−20
10	8	+ 6	78	−22
15	12	+10	67	−33
21	25	+23	60	−40
27	20	+18	36	−64

添加海水の燐含量が 2γ/L の場合には、5°C から 21°C までは次第に溶出量が增加したが、27°C では少しく 21°C の場合よりも減少した。また 100γ/L の燐含量の海水を加えた場合には、高い溫度で作用させたもの程、漸次吸收量が增加する傾向を示した。第 2 圖及び第5表等から推知される様に、一定溫度條件のもとでは、添加海水の燐含量が低いときに溶出量が大きい泥につ

いては、添加海水の燐含量が高いときには吸收量が小さくなる傾向がみられたが、この實驗では靜置中の溫度の變移に伴つて見掛上添加海水の燐含量の高低に應じて、溶出量・吸收量共に平行して增減したことは注目される。

考　　察

海洋に於ける底土とそれに接する海水との間の燐の行動は極めて多くの條件によつて支配されているものと思われるので、その機構を知ることは仲々容易なことではないと思う。以上に記した實驗では、海水と泥土との接觸條件を室內で、人工的に調節しておこなつたもので、その結果から海洋に於けるこの問題についての正しい推論は到底出來えないと考える。またこうした現象の機構は、泥土中の燐酸化合物の形態や、粘土及び腐植質乃至それらから構成される有機無機の膠質複合体の化學組成等、泥土自體の問題も檢討せねば明かにすることは出來ないものと考えるが、一應上記の二・三の條件で行われた實驗結果について以下に少しく檢討した。

振盪時間を種々變えた場合、3 分間振盪時の海水中の燐含量が、振盪時間の經過によつて、その値が變らない場合と、漸次變る場合とがあるが、それぞれ前者は急速に平衡に達するに反し、後者は平衡に達するに可なり長い時間を要することを意味するとも考えられる。そして燐を含まない海水を添加したときの後者の例では、例えば No. 6 の表層泥についてみると（第 1 表參照）3 分間の振盪で泥土から燐が 25γ/L 溶出し、それが振盪時間が長くなるに從つて 12, 7, 5γ/L と減少している。即ち始め泥土と海水間の燐の含量差によつて、急速に燐は泥土から溶出し、その一度溶出した燐は振盪中に、次第に泥土に吸收されていくものとも考えられ、その原因は明かでないが特異な現象の様である。また何れの場合も、振盪時間の經過によつて、その含量が變化する場合に、漸次增加する傾向のみられなかつたことは留意に値する。

種々の燐含量の海水を添加し、振盪した場合でも、振盪しないで靜置した場合でも、燐含量が低いときには泥土から溶出し、高いときには泥土によつて吸收され、その場合溶出と吸收の平衡濃度は各試料によつて著しく異つた。これらの試料をとつた場所の海水中の燐分布については、別の機會に報告する豫定であるが、常に海水中の燐が他に比して、低い値を示している No. 1 並びに 2 では、その平衡濃度は小さく、また吸收量が大きい。次いで No. 3 で、No. 6, 7 の塩釜港奥に位して、海水中の燐含量の高い場所のものは、平衡濃度が高く吸收量も小さい。この様にこれらの値がその試料の置かれている海水中の燐含量と、關連性がありさうに見えることは興味深いことである。また No. 2 の地點はアマモの密生している場所であるが、ここからとられた試料が、他に比して溶出量・平衡濃度共に低く、吸收量が大きくなつていることは、アマモの密生と何らかの關係があるのかも知れない。

土壤中の燐酸塩の溶解度は、pH によつて著しく左右されることは、多くの人々によつて確められている。[6) 7) 8)] 松島灣內で測定される範圍の海水の pH では、添加海水の pH が 8 以上の場合には、見掛上泥土からの燐の溶出を促進し、泥土による燐の吸收を抑制して、結果的には海

水の pH は燐の平衡濃度に、或る程度の影響を與える様である。こうした現象については、泥土中の燐酸化合物の溶解度と pH との問題も關連しているのかも知れない。しかし詳細についてはここでは全く明かでない。

前記の如く溫度條件を一定にして處理した場合と、種々の溫度で處理した場合で、燐の溶出・吸收の消長傾向が著しく異つたが、即ち前者では溶出量が大きい泥の場合には吸收量が小さくなる傾向を有するが、後者では溶出量と吸收量の消長が一致した。この溫度條件と燐の溶出・吸收の消長傾向について少しく考えてみる。溫度の上昇は化學反應並びに微生物の活動を活潑とし、その結果燐化合物の溶解度を助長する場合もあり、また吸着反應は可逆的で急速に平衡に達し、その平衡は溫度によつて可なり影響されるとも云われている。[8] 微生物の活動はその結果燐を放出し、一方で消費をもする。そして化學反應の進捗並びに微生物の活動等が、大きく原因して還元狀態をも釀成する。この實驗結果に表われた數値は、こうした諸反應・諸條件が關連して、また泥土と海水間の燐の含量差に應じて、吸收・溶出の兩方向の反應が進行し、それらが要約された結果と考える。從つて今ここでこれだけの結果からは、その原因を明かにすることは出來ないが、一定溫度條件で處理した結果と一致した傾向のみられなかつたことは、溫度條件によつて上記の様な、種々の異つた條件が伴つたことによるものと考える。21°C, 27°C で靜置した試料は、24時間後には泥土中に黑い斑點が澤山出來ていて、泥土中の有機物が腐敗していることを暗示していた。2γ/L の燐を含んだ海水を添加した例で、27°C の場合が 21°C の場合よりも溶出量が小さくなつていたことも、上述の様な事由に關連するものとも考える。何れにしても溫度條件が、燐の溶出・吸收に見掛上大きく影響することは一應留意を要すると考える。

摘　　要

松島灣内の底土を試料として、泥土と海水間の燐の平衡關係と、水溫・海水の pH 並びに燐酸含量等、海水と泥土との接觸條件との關連について、二・三の室内實驗を行つて次の様な結果をえた。

I　底土に海水を添加し振盪しておこなつた實驗

(1) 燐の平衡狀態に達する速度過程は、試料の違いによつて、またその泥の深度（0～20cm の範圍で）によつても異なるが、一定の傾向はみられなかつた。

(2) 種々の燐含量の海水を添加した場合、低含量のときには泥土から溶出し、高含量のときには泥土によつて、燐は吸收される傾向を示した。

(3) pH の異つた海水を添加した場合、pH が 8.0 以上のときには、8.0 以下のときよりも溶出量が大きかつた。

II　底土に海水を靜かに添加し靜置しておこなつた實驗

(1) 150γ/L の燐を含む海水を添加し、靜置時間を變えた場合、燐の吸收量はその接觸時間によつて著しく異なり、試料によつても大差があつた。

(2) 種々の燐含量の海水を添加して 24 時間靜置し、その處理前後で泥土からの溶出も、泥土による吸收も起こらない平衡濃度（海水中の）について檢討したが、試料によつて大いにその値が異つた。

(3) 靜置中 100γ/L の海水から吸收された燐量と、泥土遊離水中の燐含量との間には、負の相關性が存在する様であつた。

(4) 添加海水の pH の增加（7.0～9.0 の範圍）は、燐の泥土からの溶出を促進し、泥土による吸收を抑制する様であつた。

(5) 種々の溫度（5～27°C）で靜置した場合、泥土からの溶出量及び吸收量は可なりの變化がみられた。

引　用　文　献

(1) 奥田泰造 (1953) 内灣底土中の可溶性榮養鹽について　第1報　底土中に含まれている可溶性榮養鹽の一考察　東北水研報告 (2), 109～117.

(2) ———— (1953) 内灣底土中の可溶性榮養鹽について　第2報　底土耕耘による榮養鹽溶出の可能性について　東北水研報告 (2), 118～125.

(3) ———— (1955) 内灣底土中の可溶性榮養鹽について　第3報　底土に含まれている可溶性榮養鹽の海水中への溶出に關する二・三の考察　東北水研報告 (4), 217～244.

(4) 五十嵐彥仁・黒田久仁男 (1933) 河川溶解燐酸の底土による損耗（其一）・（其二）北水試旬報 (243), (244).

(5) Stephenson, W., (1949) Certain effects of agitation upon the release of phosphate from mud. Journ. Mar. Biol. Assoc., **28**, 371～380.

(6) 青木茂一 (1949) 土壤化學　第4編　土壤吸收論　144p.　東京；養賢堂

(7) 川口桂三郎 (1950) 土壤化學　第6編　水田土壤の化學 89p.　東京；養賢堂

(8) 大杉　繁 (1948) 一般土壤學　566p.　東京；朝倉書店

魚類肝臓及び其の他の器官におけるビタミンAの存在状態に關する研究（第1報）※

山村彌六郎

STUDIES ON THE MODE OF THE EXISTENCE OF VITAMIN A IN FISH LIVER AND THE OTHER ORGANS(I)

By

Yarokuro YAMAMURA

To ascertain the mode of the existence of vitamin A in the fish liver and in other organs, the histochemical procedures were employed on several kinds of fish which contain vitamin A in abundunce; e. g. the oil sole (*Athresthes evermanni* J. & S.) (liver and pyloric caeca), the dog fish (*Squalus suckleyi* G.) (liver, kidney and spleen), the blue shark (*Prionace glauca* L.) (liver), the salmon shark (*Lamna cornubica* (GMELIN)) (liver), the thunny (*Thunnus orientalis* T. & S.) (liver), the coral rock fish (*Sebastodse* sp.) (liver), the skipjack (*Katsuwonus pelamis* (LINNAEUS)) (liver), the pollack (*Theragra chalcogramma* (PALLAS)) (liver), etc.

At first the existence of the fat was saught in these tissues by means of the paraffin section method (Fig. 1). In Fig. 1, we can recognize the oil globules as white spots which were defatted during the process, dispersing in the compact protein substance in the case of non fatty tissue, such as pyloric caeca and liver of the oil sole, livers of the coral rock fish, skipjack, tunny, or pig, and kidney, or spleen of the dog fish. In the fatty tissues the oil globules are found among the lattice fibers which consist of protein substances; e. g. liver of dog fish, blue shark or pollack.

The relation between the Oil, the vitamin A contents, and the coarseness of the tissues in several species of fish liver and in other organs, are tabulated in Table 1, and those relations of the dog fish liver considering the colour, the parts, and the density of the melanin pigments are shown in Table 2. It is interesting that the liver tissue of the salmon shark is coarse in the middle part in which vitamin A content is very low, but very compact in the marginal parts where vitamin A content is very high (Fig. 2, and Table 1).

It was ascertained that vitamin A co-existed abundantly with the fat component in micro-particles in the mucous membrane of pyloric caeca of the oil sole as seen in the frozen section, which was stained by the Osmium-GDH* method (Fig. 3 1~8).

It was found that vitamin A exissted in good affinity with the melanin pigments which are dispersed in the liver tissue of the dog fish when their frozen section

※東北海區水産研究所業績 第68號　本研究は日本ビタミン學會第7回大會（昭和30年5月，東京）及び第36回脂肪溶性ビタミン綜合研究委員會（昭和30年6月，松島）にて發表したものを取纏めたものである。

were stained with osmium-GDH reagents after being defatted moderately by absolute alcohol (Figs. 1, 14, 15. 16).

JOYET[6] et al have pointed out that vitamin A exists in every cell, but it was found more densely in mitochondria and kernel. BROUSSY[18] has observed that mitochondria would perhaps be the precursor of the melanin pigments.

Therefore, it may not be accidental that the reaction of GDH for vitamin A more strongly occurrs around the melanin pigments of the shark liver.

The possibilities of chemical affinity between vitamin A molecules (ester from) and melanin as well as of vitamin A and tissue protein were also discussed (Figs. 5, 6, 7).

* GDH = Glycerol dichlorohydrin

ビタミンAを多量に保有するアブラガレイ・アブラザメ・ヨシキリザメ・ネズミザメ(モウカ)・メヌケ・カツオ・メジロマグロ・スケソウダラ等の肝臓・幽門垂・腎・脾等の器官にビタミンAが如何なる狀態で存在するかを知るため、組織化學的手法により追求した。

先ず常法[1]に從い、10%フオルマリン液固定を行つた各組織からパラフィン切片をつくり、顯微鏡下にその組織像を覗いて見たのが圖1である。この際パラフィン切片調製の過程において組織中の脂肪は、略完全に除去されるので、その存在位置が空白となつて固定されている。ビタミンAも脂肪と共に除かれてしまい、主として蛋白質物よりなる組織像が圖1には現わされている。

アブラガレイの肝臓幽門垂にはこの油の抜け穴が點々として見られ、(圖1. 1. 2)、メヌケもややこれに似ている(圖1の4)。

ところがタラやアブラザメやヨシキリザメのような脂肪の多い組織になると、蛋白質様物質は細い糸狀となり互に纏絡して網狀の組織(格子纖維)[2]を形成し、この間に脂肪が貯藏されていることが明らかに見られる。核が點々として網狀組織の中に見られる。メラニン細胞(後述)もこの間に點々として存在することが多い。カツオやメジマグロは脂肪が少くヘマトキシリンやマロリーの染色液で處理すると、蛋白質様物質の甚だcompactな組織と比較的疎な組織とが層狀に配列しているのが見られる。(圖1の3マロリーの圖略)

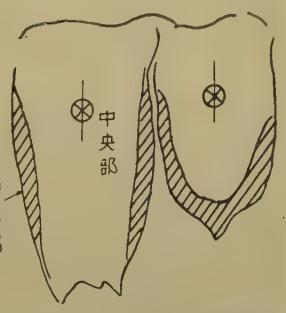
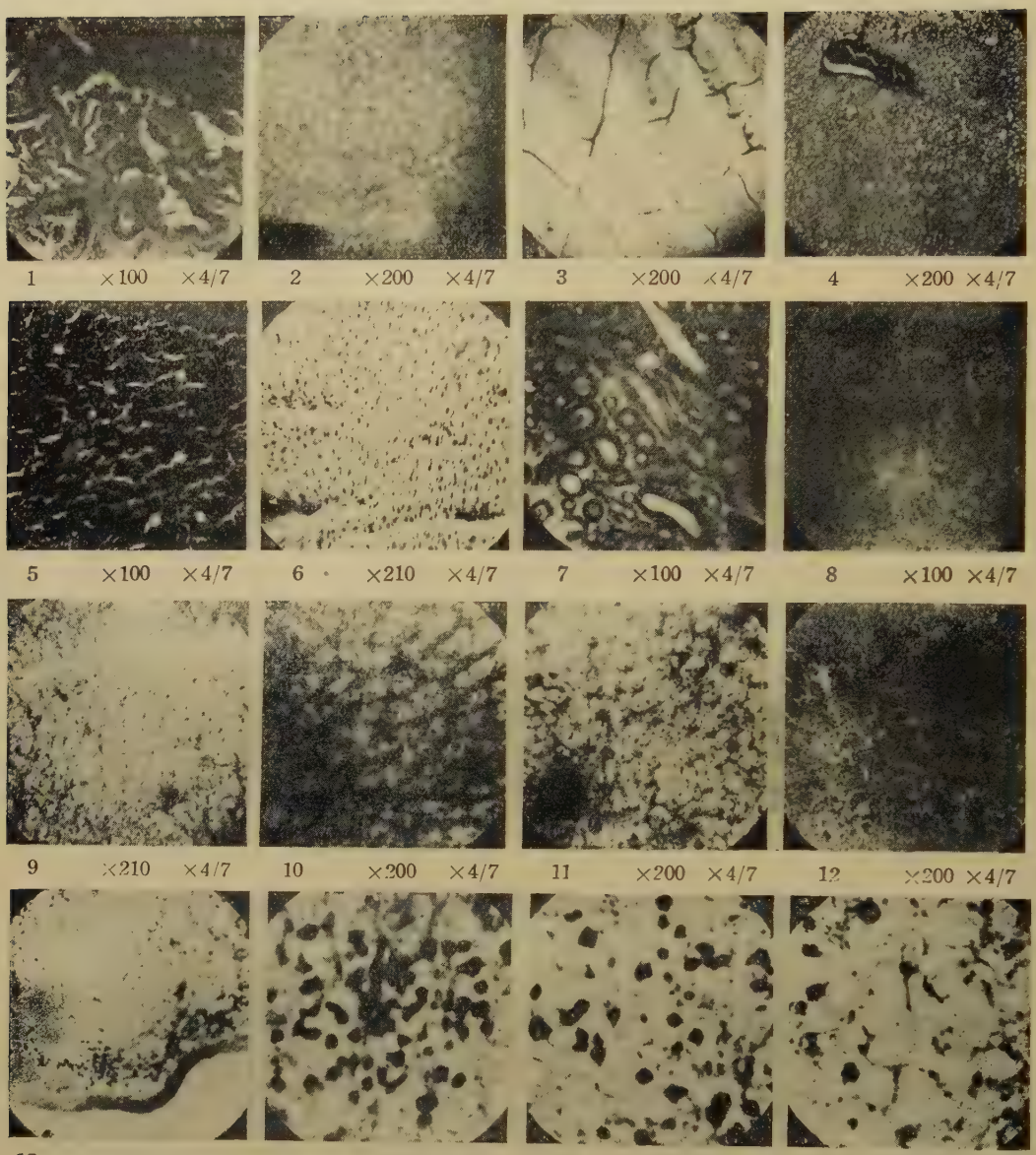


圖2 ネズミザメの肝臓
Fig2. Liver of the salmon shark

またネズミザメでは同一肝臓のヘリの部分と中央の部分とが組織的にはつきりと違つており、ヘリの部分はカツオに近い密な組織をしているのに、中央部はアブラザメやヨシキリザメに似た疎な組織をしている。(圖1の11. 12)

すなわち、カツオ・メジマグロ・ネズミザメの肝臓のヘリ(圖2)の組織は脂肪が少く、したがつて蛋白質様物質の多い陸上動物のブタの組織に近い構造を持ち、アブラザメやヨシキリザメやネズミザメの中央部の組織は脂肪組織[2]の性狀をもつている。スケソウダラもややこれに近い。アブラザメの腎臓や脾臓も脂肪は少くてその構造は、腎臓が蜂窩狀の斷面を有する管狀組織であるの



1 ×100 ×4/7　2 ×200 ×4/7　3 ×200 ×4/7　4 ×200 ×4/7

5 ×100 ×4/7　6 ×210 ×4/7　7 ×100 ×4/7　8 ×100 ×4/7

9 ×210 ×4/7　10 ×200 ×4/7　11 ×200 ×4/7　12 ×200 ×4/7

13 ×100 ×4/7　14 ×400 ×4/7　15 ×400 ×4/7　16 ×400×4/7

1. アブラガレイの幽門垂 (Oil sole; Pyloric caeca)
2. アブラガレイの肝臓 (Oil sole; Liver)
3. メジマグロの肝臓 (Thnnny; Liver)
4. メヌケの肝臓 (Coral rockfish; Liver)
5. カツオの肝臓 (Skipjack; Liver)
6. ブタの肝臓 (Pig; Liver)
7. アブラザメの腎臓 (Dogfish; Liver)
8. アブラザメの脾臓 (Dogfish; Spleen)
9. スケトウダラの肝臓 (Pollack; Liver)
10. ヨシキリザメの肝臓 (Blue shark; Liver)
11. ネズミザメの肝臓(中央部) (Salmon shark; Liver—middle)
12. ネズミザメの肝臓(周縁部) (Salmon shark; Liver—margin)
13. アブラザメの黒肝(基部, 周縁) (Dog fish; Liver —base, margin)
14. アブラザメの黒肝(基部) (Dog fish; Liver —base)
15. アブラザメの黒肝(中央部) (Dog fish; Liver —middle)
16. アブラザメの黒肝(先端部) (Dog fish; Liver —end)

圖 1　魚類肝臓及び其の他器官に於ける脂肪の存在狀態（パラフイン切片）

Fig. 1　The microscopic view of the excitence of the fat in fish liver and other organs (Paraffin section).

に對し脾臟は、一見何の變哲もない緻密な蛋白質様物質の集合體である。

いま、これらの魚類の組織像を對照しながら、それの含油量（%）とビタミンA含量との關係を考えて見る（表1）。

表1　魚種及び器官の相異による含油量・A含量並に組織の疎密

Table 1. The relations between the oil, the vitamin A contents and the coarseness of the tissues in several species of fish liver and other organs.

	體長範圍 Body length	含油量 Oil content	ビタミンA含量(對肝油) Vitamin A contents(per oil) 平均 Mean	最高 Max	最低 Min	對組織 V. A. (per tissue) 1g當り per 1g	疎密 Coarseness
	cm	%	l. u. I. U.	l. u. I. U.	l. u. I. U.	l. u. I. U.	
アブラガレイ (Oil sole)	40～70						
Liver		32	8000	72000	2000	2550	
Viscera		3.4	270000	900000	8000	9200	密
アブラザメ (Dog fish)	60～110						
Liver		62	6500	46000	800	4050	疎
Kidney	(70～102)	3.9	12000	60000	500	470	密
Spleen		4.9	5700	27000	600	260	密
ヨシキリザメ (Blue shark)	100～180						
Dark L.		40	40000	53000	20000	16000	疎
Light L.		50	2000	4000	800	1000	〃
ネズミザメ (Salmon shark)	120～170						
中央部 Middle		53	2000	5000	400	1060	疎
周緣部 Margin		15	23000	50000	4000	3450	密
メヌケ (Coral rock fish)	38～48						
Liver		15.5	54000	235000	45000	8400	密
カツオ (Skipjack) L.	Ca 50	10	20000	30000	10000	2000	密
メシマグロ (Thunny) L.	Ca 60	5	30000	—	—	1500	密
スケソウダラ (Pollack)	40～60						
Liver		35	5000	15000	700	1750	稍密
Pyloric caeca		2.2	4700	6500	3000	104	
ブタ (Pig) L.		1～2	—	—	—	—	密

すなわち表1に見るように、概して肝油の量の多いものは組織は疎でビタミンA單位は低く、肝油の量の少いものは組織は密でビタミンA單位が高いが、アブラガレイの幽門垂は特にビタミンAの單位が高い。

ビタミンA單位の最高と最低との開きは平均數倍であるが、中には數十倍以上に達するものもある。このことはビタミンAが時期的に生理的に消長することを物語る。

つぎに各組織について組織1g當りのビタミン A 含量を計算してみた（表1の最後の欄）。

この數字（組織 1g 當りの單位）を見ると肝油1g 當りの單位の魚種による開きよりも、餘程小さくなつているように見える。

けれどもこの組織 1g當りの單位が高いか低いかはその組織がビタミン A を貯藏する器官であるるか否かを示す尺度となるであろう。

この考えに從えば、アブラガレイの Viscera（幽門垂＋腸）はその肝臟よりもより强くビタミンA を貯藏する性質を有しているし、アブラザメの肝臟はその腎臟や脾臟よりも遙かに優れたA貯藏機能を有する。ネズミザメでは周緣の方が中央部よりもより撰擇的にA を貯藏しており、スケソウダラでは幽門垂より肝臟の方が貯臟器官となつているように思われる。

また同じ魚種の肝臟でもその色調が濃いか淡いかによつてビタミン A 貯藏に對する機能は違

表2　アブラザメの黑肝・白肝及び部位による含油量・A含量・組織の疎密並にメラニン色素細胞の密度

Table 2. The relations between oil and vitamin A contents of the dog fish liver considering the colour, the parts and the coarseness and the density of melanin pigments of the tissue.

	黑肝 Dark coloured liver					白肝 Light coloured liver				
	含油量 Oil content	ビタミン A 濃度 Vitamin A conc. 對油 per oil	ビタミン A 濃度 Vitamin A conc. 對組織 per tissue	組織密度 Coarsness of tissue	メラニン密度 Density of melanin pigments	含油量 Oil content	ビタミン A 濃度 Vitamin A conc. 對油 per oil	ビタミン A 濃度 Vitamin A conc. 對組織 per tissue	組織密度 Coarsness of tissue	メラニン密度 Density of melan pigments
左葉 Left lobe	%	I. u. I U.	I. u. I. U.			%	I. u. I. U.	I. u. I. U.		
先端 End	59.5	26500	15800	疎	＋	56.0	232	130	疎	－
中央 Middle	67.0	22800	15200	疎	＋＋	63.1	210	132	疎	－
基部 Base	61.5	34000	21000	密	＋＋＋	43.5	465	202	密	±
中葉 Central lobe	50.5	57000	28800	密	＋＋＋＋	48.1	465	223	密	＋
右葉 Right lobe										
先端 End	60.5	30500	18400	疎	＋	60.2	210	126	疎	－
中央 Middle	64.0	26500	17000	疎	＋＋	61.0	230	140	疎	－
基部 Base	54.0	45500	24500	密	＋＋＋	49.0	350	172	密	±

つており（ヨシキリザメ：Dark > Light）、この關係のとくに著しいアブラザメを例にとつて稍詳しく考察してみると、すなわち表2に示したように、

黑肝 ＞ 半黑肝（略）＞白肝

の順序にビタミン A の貯藏力は大であり

また、

基部 ＞ 中央部（先端部）
中葉 ＞ 左　葉（右　葉）

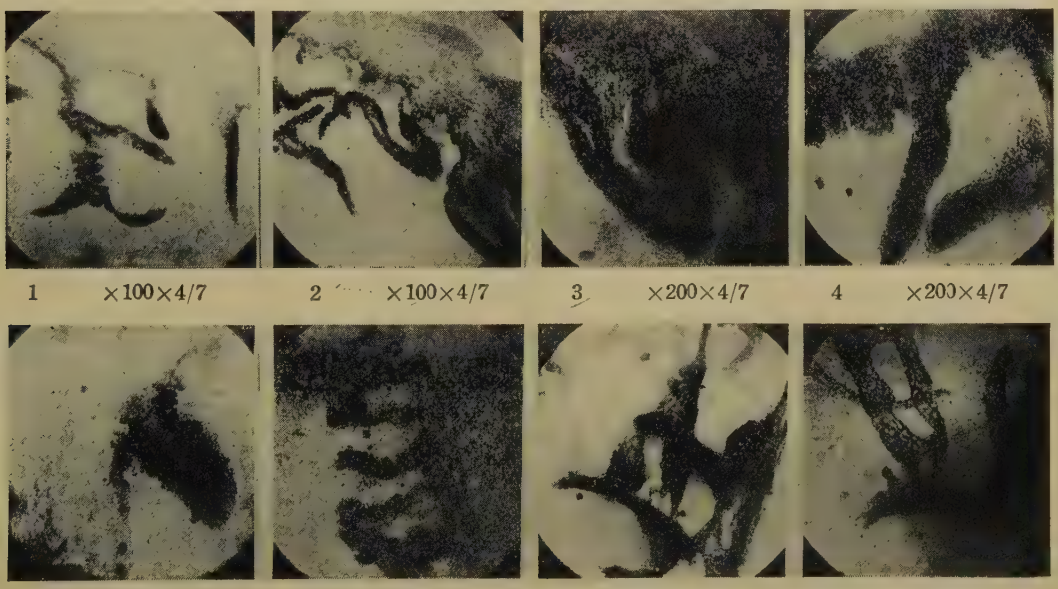
の順序でビタミン A の貯藏能力が增している。このことと組織の狀態との關係を見ると、

ビタミン A の多いものほど　組織は密
　　メラニン色素粒は多
少いものほど　組織は疎
　　メラニン色素粒は少

という傾向が出てくる（圖1の13, 14, 15, 16參照）。

つぎに著者はビタミン A 貯藏器官中のビタミン A を直接に visible form において把握することに努力してみた。

このことについてはQUERNER[3], HIKI[4], WIMMER[5]等による螢光顯微鏡法とTOYET-LVERGNE[6]等による三塩化アンチモン法、FEINSTEIN[7], SOBEL&WERBIN[8]等によつて紹介された Glycerol dichlorohydrin (GDH) 法などがあり、この GDH 法を用いて魚類の幽門垂について勝井[9]が先鞭をつけ、荒木[10]等もビタミンAの病理組織化學に顯著な業績を殘したが、魚類肝臓とくにアブラザメのような多脂肪の肝臓については著者の寡聞のためか未だ手掛けられていないように思

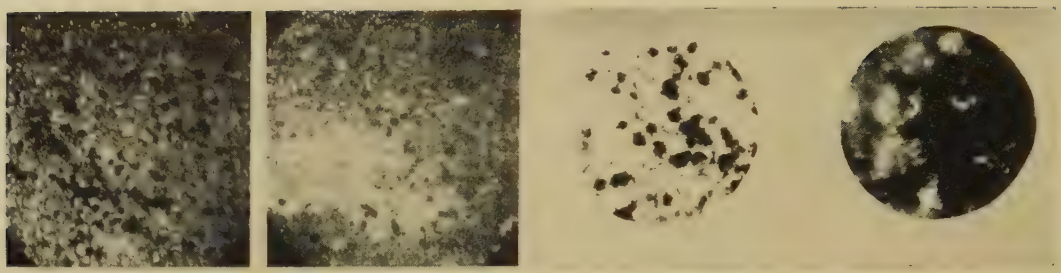


1　×100×4/7　2　×100×4/7　3　×200×4/7　4　×200×4/7

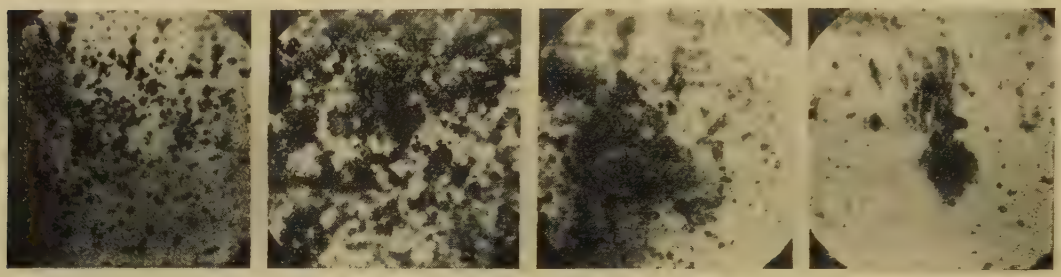
5　×200×4/7　6　×200×4/7　7　×200×4/7　8　×200×4/7

1. アブラガレイの幽門垂，無處理（Oil sole ; Pyloric caeca）
2. 同上，オスミウム酸固定（〃 ; fixed with Osmic acid）
3. 〃　〃　（〃　〃）
4. 〃　〃　（〃　〃）
5. 〃　GDH染色　（〃 ; stained by GDH）
6. 〃　〃　（〃 ;　〃　）
7. 〃，オスミウム酸固定後 GDH 染色（〃, stained by GDH after fixed withOs-acid）
8. 〃，　〃　〃

圖3　アブラガレイの幽門垂及び腸に於けるビタミンAの存在狀態（凍結切片）The microscopic view of the existence of the vitamin A in the pyloric caeca and intestine of the oil sole hàving bee brought visible form by means of the Osmium-GDH stainning method (Frozen section).



9　×200×4/7　10　×200×4/7　11　×210×4/7　12　×210×4/7



13　×200×4/7　14　×200×4/7　15　×200×4/7　16　×200×4/7

9. アブラザメの肝、アルコール脱脂）メラニンの分布（Liver of dog fish, defatted by alchol. Melanin pigments）
10 同上、臭素水にて處理；メラニン脱色（Melanin pigments decolorated by bromine water）
11. 〃，煮熟脱脂（Liver of degfish defatted by boiling with water）
12. 〃，〃，$SbCl_3$試藥染色（〃，〃，stained by $SbCl_3$reag.）
13. 〃，99% アルコール浸漬（對照）（〃，immersing in 99% alchool, control）
14. 〃，99% アルコール 15分、オスミウム-GDH 處理
15. 〃，99% アルコール 30分，オスミウム-GHD 處理
16. 〃，99% アルコール 60分，オンミウム-GHD 處理
（14, 15, 16 : Liver of dog-fish stained by Os-GDH after immersing in 99% alcohol for 15, 30, 60min. respectively.）

圖4　アブラザメの肝臟中に於けるビタミンAの存在狀態（凍結切片）

Fig 4　The microscopic view of the existence of the vitamin A in the liver of the dog fish having been brought visible from by means of the $SbCl_3$ reag or the Osmium-GDH stainning method (Frozen section).

われる。

そこで著者はまず、脂肪の比較的少くビタミンAを濃厚に含有するアブラガレイの幽門垂並に腸を用いて、凍結切片をつくり、脂肪をオスミウム酸で固定したのち、GDH 試藥を用いて染色しビタミン A の存在狀態をしらべた。その結果は圖3, 1-8 に示す通りである。

これによつて見る通り、アブラガレイの幽門垂及び腸に於けるビタミン A は脂肪の微粒子に溶解した狀態で、幽門垂または腸の褶襞（粘膜）の網狀組織内に保有されていることがわかる。GDH で呈色した小油球を仔細に觀察すると、青綠色の呈色度の強いものと弱いものと全然呈色しないものとが存在する。而してこの褶襞の吸收端ほど A の呈色反應が強く下層の環狀筋組織にゆくにつれて減少していることは、勝井のサバ及びサワラ幽門垂、荒木のタラ幽門垂に於ける所見と一致している。

つぎに含油量の多い肝臟の例としてアブラザメについての存在狀態を探つてみた。さきにパラフィン切片をつくりその肝臟中の脂肪の存在狀態を確かめておいたので、今度は出來るだけ新鮮

なビタミンAの濃い黑肝を撰び、フォルマリン固定したのち凍結切片をつくりSbcl$_3$試藥およびGDH試藥で染色を試みたが、含油量が非常に多いために、これらの試藥は組織の肝油中に速かに擴散してしまつて、肝臓組織中の如何なる場所にAが濃厚に存在するかを摑み得なかつた。

併し乍らこの切片を輕く煮熟するか、アルコール等の溶媒で適當に處理して組織中の脂肪を或る程度除いてから染色すると割合に蛋白質樣物質と强固に吸着する性質をもつているビタミンAがcatch出來ることを見出した。

この手掛りを與えたのがアブラザメ肝臓中に存在するメラニン色素細胞であつた。はじめこの組織中の點々と存在する黑いものが何であるかわからなかつた（圖1, 13, 14, 15, 16）。しかし恐らく黑肝の黑味を與える原因であることは想像された。そこで切片をアルコールで脫脂したのち發生機の塩素または臭素水で處理してみると、やがて（約24時間後）脫色されたのである（稀酸や稀アルカリでは變化しない）（圖4の9, 10）。すなわちメラニンであることが確認された[11]。

つぎにこのメラニンを多く含有する部分の凍結切片をつくり、適當に煮熱または99%アルコール溶液（70%→80%→90%→99%）に各種の時間浸漬して脂肪を完全にではなく、不完全に除いたのち、オスミウム酸で輕く固定し、切片をスライドグラスに載せアルコール灯で手早く乾燥したのち、塩酸とGDHを1滴づつ垂らしてカバーグラスで蔽い顯微鏡下に覗くと、メラニン細胞の周圍が青紫色に染まることを見出した（圖3, 14, 15, 16）。アルコール處理のみの對照の切片と比較して見るとよくわかるであろう（圖4の13）。煮熟した切片を同樣にして乾燥したのちSbcl$_3$試藥を落して素早く覗くとやはりメラニンの周圍を中心として青藍色の着色が濃くなつていることが觀察された（圖4の11, 12）。

考　　察

アブラザメ肝臓切片をアルコールで脫脂する場合に99%アルコール浸漬時間が15分・30分・60分と長くなるに從つてGDHに對する組織の染まり方が異なり、15分の場合は肝細胞も同時に青紫色に染まるが、30分の場合には肝細胞は殆んど染まらずメラニン細胞の周圍のみが强く染まるようになる。60分になると肝細胞は勿論メラニン細胞も餘り强い呈色は示さなくなる。

このことについて考えてみるに15分浸漬の程度ではアルコールの抽出効果は未だ肝細胞並にメラニン細胞とビタミンAとの親和力に打ち勝ち得ないでいるが、30分になるとアルコールの抽出効果は肝細胞とAとの親和力には打勝ち得ても未だメラニン細胞とAとの親和力とに打勝ち得るには至らず、60分になつてはじめてメラニンとAとの親和力にも打勝ち得ることを示しているように思われる（圖4の14, 15, 16）。このことはビタミンAと肝組織成分との親和力に段階のあることを認識せしめる。すなわち肝細胞よりもメラニン細胞の方がビタミンAに對する親和力が强いということが云える。

そこでもう少し考察を進めよう。ビタミンAは肝油は中に於ては大部分 90% 以上ビタミンAエステルの形で存在[12]しており、圖5に示す如く組織の蛋白質物との界面の方に頭を向けながらビタミンA分子のもつ共軛二重結合に由因する π 電子[13]の作用によつて肝細胞蛋白と吸着狀態にあると考えられる。メラニン色素細胞の周圍にも同様の理由によつて吸着てされおり、この結合は肝細胞との吸着よりも一層强力であると考えられる。

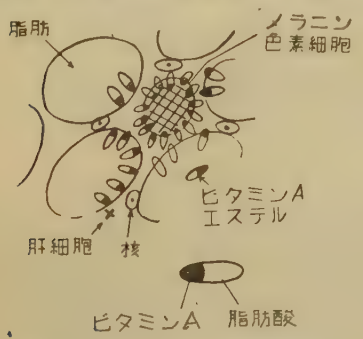


圖5　アブラザメの肝組織におけるビタミン A の存在狀態假想圖

Fig. 5. The mode of the existence of vitamin A in the dog fish liver(imaginary).

なんとなれば最近の蛋白質化學によればメラニンはチロシンよりチロシナーゼの作用によりドーパ・ドーパキノンを經て生成されたインドール—5, 6— キノンの重合によつて出來るものであり、その分子の構造は圖 6 の如くでありこのものが多數集合して巨大分子を造つていると考へられている[14]。したがつて物理的（凹凸がある）にも化學的（二重結合を多くもつ）にも非常に吸着作用の强い形態をもつているので、これと圖7の如く共軛二重結合 5 個を有するビタミン A 分子との間の親和力は相當强固なものであろうことが首肯される。

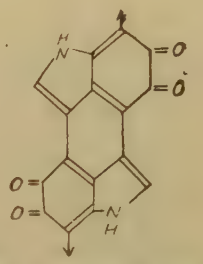


圖6　メラニンの un it
The unit of melanin

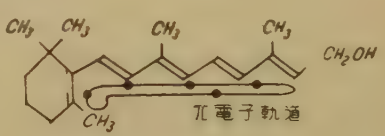


圖7　ビタミンA
Vitamin A

すなわち肝臟組織を煮熟するか、脂肪溶解力の比較的弱い溶媒（アルコールの如き）で抽出すると肝細胞蛋白質との親和力の比較的弱い脂肪とビタミン A の一部分は抽出し得ても、メラニンと吸着狀態にあるビタミン A は抽出されずそのために GDH によつて着色されたと考えることが出來る。メラニンと肝細胞の蛋白構成は當然異なると考えられ——肝細胞の蛋白組成については未だ十分分つていないが——メラニンの方にビタミン A とより强固な親和力を示すところの分子構造が存在することは推定される。ところがより强力な脂肪溶媒（エーテルの如き）で繰返し抽出すると、ビタミン Aは 殆んど完全に組織から離れてしまう。このことはビタミンAと組織成分（メラニンをも含めて）その結合が化學結合のような甚だ强固なものではないらしいことを裏付けている。

肝臟組織と水と煮熟する場合を考えてみると、先ず自己消化によつて組織が破れ細胞內の脂肪が出易い狀態に置かれ、更に熱による組織蛋白の凝縮により脂肪を外部に押し出す役目をすると同時に熱により蛋白質とビタミン A との親和力を或る程度弱めるであろう。併し未だ大部分のA分子は組織蛋白との界面に濃厚に存在するであろう。これが

煮熟して出てくる肝油　　ビタミン A　淡

壓搾して出てくる肝油	〃	稍濃
殘渣をエーテル抽出した肝油	〃	濃厚

となることの說明となろう。

この關係はアブラザメでは顯著に現われるのにスケソウダラでは餘り差がないという事實[15) 16)]はアブラザメにはメラニンが多いのにスケソウダラには殆んどメラニンが存在しない（圖1）ことと密接な關係があるのではあるまいか。

尙、JOYET-LAVERGNE[6)]，BOURNE[17)] 等によればビタミンAはすべての細胞に存在し、ミトコンドリアと仁に局在しているといつており、BROSSY[18)] はミトコンドリアはメラニン色素の前驅體らしいことを觀察しているから、メラニン色素の周邊にビタミンAの呈色反應が强く現われることは强ち偶然でないと思われる。

併し現在は未だメラニンとAとの吸着性について斷定し得る段階には立至つていないので、更らにこの證明實驗を行なつて次回に報告したいと考えている。

摘　　要

1. アブラガレイ（肝・幽門垂），アブラザメ（肝・脾・腎），ヨシキリザメ，ネズミザメ，メヌケ，カツオ，メジマグロ，スケソウダラ（各肝）について、パラフィン切片をつくり顯微鏡下に組織及び脂肪の存在狀態を調べた。
2. 脂肪の少い器官の組織は密な蛋白體よりなり、組織內に點々として脂肪の拔け穴が見られる（アブラガレイ肝・幽門垂，メヌケ肝，カツオ肝，メジマグロ肝，アブラザメ腎，脾）。

   脂肪の多い器官の組織は疎な蛋白體の網狀纖維組織（格子纖維）よりなりその間に大量の油が保有されている（アブラザメ肝，ヨシキリザメ肝，ネズミザメ肝，スケソウダラ肝）。
3. 組織1g當りのビタミンA量の魚種及び器官による差異は、肝油1g當りのビタミンA量の魚種及び器官における差よりも少い。
4. アブラガレイの幽門垂及び腸の凍結切片をつくりGDH法によりビタミンAの存在狀態を顯微鏡下に觀察した結果、ビタミンAは粘膜部の脂肪の微粒子中に溶解して存在することを確かめた。
5. アブラザメ肝臟の凍結切片をアルコール脫脂したのち、オスミウム酸で固定しGDH染色をして、ビタミンAが肝組織中に散在するメラニン色素細胞の周圍に可なり强く吸着されて存在することを觀察した。
6. ビタミンAとメラニンのとくに吸着され易い理由について兩者の分子構造から說明を加え、且つビタミンA（エステル型）の肝組織に於ける存在狀態を假想し模式圖に示した。

終りに臨み、本研究に對し深い御理解と御鞭撻を給わつた木村所長・谷井利用部長、組織切片の調製に多大の御便宜と御助言を給わつた日本冷藏研究所千賀浦分室長高田侃氏森谷昌一氏他室

員各位、並びに本文の御校閲と御忠言を給わつた東北大學農學部土屋靖彦教授・工學部三井生喜雄教授の諸氏に衷心より感謝の意を表す。

文　　献

1) 森優：組織化學の理論と方法（昭和23年版）.
2) 石澤政男：組織化學提要（1），133p, 139p（昭和29年版）.
3) Querner, F., Sturm, K. : Anat. Anz. **78**, 289(1934);
Querner. F. : Klin. Wschr. **14**, 1213(1935II).
4) Hirt, A., Sommer, H., Wimmer, K., Kissel bach, A. : Verh. Anat. Ges. **46**, 97 (1938);
Hirrt, A:ebd. **47**, 25(1939); Hirt, A., Wimmer, K. : Klin. Wschr. **19**, 123(1940).
5) Wimmer, K. :Verh. Anat. Ges. **47**, 42(1939)
6) Joyet-Lavergne, Ph. : C. r. Acad, Sci. **199**, 1159(1934); **200**, 346(1935); **201**, 1042 (1935);
201, 1219(1935).
7) Feinstein, L. : J. Biol. Chem. **159**, 569(1945).
8) Sobel, A. E., Werbin, H. :J. Biol. Chem. **159**, 681(1945).
9) 勝非五一郎：ビタミン **1**, 374(1950).
10) 荒木正哉：ビタミン **5**, 1 (1952).
11) L. リゾン：組織化學および細胞化學，403p (1954).
12) 山村：未發表
13) Van Vleck, J. H., Sherman, A: Rev. Mod. Rhys., **7**, 167(1935)（理論化學の進歩第1集，67-68）
14) 赤堀四郎・水島三一郎：蛋白質化學 (3) 620(1955.)
15) 河合・吉田：藥學雜誌，**53** 152 (1933).
16) 山村・近藤：日水學誌. **15**(1), 7, (1949).
17) BOURNE, G. : Austral. J. exper. Biol. and Med. Sci., **13**, 239(1935).
18) BROUSSY : L. リゾン組織化學および細胞化學，379p(1954).

チクワ漂白の目的で行われている過酸化水素処理についての檢討※

梅　本　滋

ON THE BLEACHING TREATMENT OF "CHIKUWA" (A FOOD PRODUCT OF FISH MEAT JELLY) WITH H_2O_2

By

Shigeru UMEMOTO

During Chikuwa processing, the bleaching treatment with H_2O_2 — wetting the surface of the product with dil. H_2O_2 solution is occasionaly adopted. The author studied the bleaching treatment and its influence on the products.

The concentration of dil. H_2O_2 solution using as the bleaching agent was 0.85 ~3.5 per cent. It seems probable that the decomposition of H_2O_2 in the bleaching solution would occur during treatment; however, no distinct decrease of H_2O_2 concentration was observed. It may be thought that, this stability of H_2O_2 is due to the effects of some stabilizers, which are considered originally contained in the H_2O_2 solution.

It was observed that, the H_2O_2 solution which wetted the surface of Chikuwa permeate into the products thus resulting the bleaching effect. Bleaching treatment with H_2O_2 showed also some valuable antiseptic effects on the products, such as prolongation of the preserving period.

チクワ製造の際に、その色を白く仕上げる目的で、焙焼直後にチクワの表面を dil. H_2O_2 液で濕す處理を行う場合がある。目的は同じではないかも知れないが、H_2O_2 處理は他の煉製品でも行うことがある。チクワの商品的價値の維持、更に向上のために黄色味をおびているチクワを白くするとゆう「色調」の改善に主力が注がれていることには、反省しなければならない點が多いであろう[1),2)]。併し原料魚に制約をうけて、魚種・鮮度等の關係から白い製品のつくりにくい場合には、色についても何等かの處理を施さなければならぬ立場に業者はおかれ、漂白處理を餘儀なくさせられている場合も可成り見受けられるのが現狀であり、ホツケ・スケソー肉の漂白方法については三輪[3)]・田元[4)]等の報告がある。著者は業者が漂白の目的で行つている H_2O_2 處理についてと、それがチクワにどのような影響を及ぼしているかについて檢討を行つた。

チクワの H_2O_2 處理法の概略

チクワの H_2O_2 處理は塩釜地方では次のようにして行なつている。焙焼を終つて焙焼爐の末端に到達したチクワは、ここで回轉しながら、上方から dil. H_2O_2 液のシヤワーを約4秒間浴び、チクワの表面は H_2O_2 液で濡らされて、その處理を終る。H_2O_2 液は conc. H_2O_2 原液(約35%)

※ 東北海區水産研究所業績　第67號

を適度にうすめて調製し、カメ・樽等の貯槽に入れてあり、チクワ表面を濕して滴下した H_2O_2 液は貯槽に回收され、連續的に循環して使用される。貯槽中の H_2O_2 液が少くなつて來ると、H_2O_2 液が追加される。地方によつてはチクワを H_2O_2 液中に浸したり、H_2O_2 液面上をころがす方法をとつているところもある。カマボコ・ナルト巻・ハンペン等の製造の際には、H_2O_2 液中に浸しているのを見ることが多い。

實驗及び考察

1. $KMnO_4$ による H_2O_2 定量値についての檢討

チクワ漂白處理に使用中の H_2O_2 液（以下チクワ H_2O_2 液と略記）は循環して使用されており、處理中にチクワからの有機物の混入が考えられる。$KMnO_4$ による定量の際に、試料中に有機物が混在していることによる H_2O_2 定量値への影響の程度について次のような檢討を行つた。

H_2O_2 處理を行つていないチクワの表層部（厚さ約 2mm）20g から水 100cc を用いてチクワ抽出液を得、dil. H_2O_2（分析用 30% H_2O_2 を適度に稀釋したもの）5.00cc に有機物として上に得たチクワ抽出液 5.00cc を加えた混液について $KMnO_4$ によつて H_2O_2 を定量した。チクワ H_2O_2 液についても同様に、チクワ抽出液を添加して H_2O_2 を定量した。又アブラガレイ肉 20g を水 100cc で抽出して得たアブラガレイ抽出液を有機物として H_2O_2 液に添加した場合についても同様にして H_2O_2 を定量した。その結果は第1表の如くである。

有機物として添加されたチクワ抽出液、アブラガレイ抽出液中の N 含量は夫々 0.086%, 0.114% で、チクワ H_2O_2 液の N 含量（後出第3表）に比し非常に大きい。第1表に於て、有機物が存在するときには、H_2O_2 定量値の變動は大きくなることが認められるが、特に大きいとは考えにくい。以下の實驗で H_2O_2 の定量は $KMnO_4$ を用いて行つてある。

第1表　有機物の混在している試料についての H_2O_2 定量値

1. 有機物としてチクワ抽出液を添加

H_2O_2 液の種類 ＼ 有機物添加の有無	無處理	有機物添加
dil. H_2O_2 液	2.82%	2.83%
	2.82	2.83
チクワ H_2O_2 液	2.80	2.80
	2.81	2.80

2. 有機物としてアブラガレイ肉抽出液を添加

H_2O_2 液の種類 ＼ 有機物添加の有無	無處理	有機物添加
dil. H_2O_2 液	2.84%	2.87%
	2.85	2.87
チクワ H_2O_2 液	3.26	3.15
	3.24	3.15
	3.20	3.22
	3.21	3.16

2. チクワ H_2O_2 液の性狀

業者は H_2O_2 原液（約35%）を水で適當に稀釋して使用している。數ケ所の工場で、チクワ H_2O_2 液の濃度について測定した結果は、第2表の如くで、H_2O_2 濃度は可成り廣い範圍に亘つていることを知る。業者は比較的に黒味をおびているチクワの場合、例えばボツケ肉や、低鮮度のスケソー肉を多量に用いたチクワのときには幾分か高めの濃度の H_2O_2 液を使用すると云つている。

第2表　チクワ H_2O_2 液の濃度

試　料 No.	H_2O_2 濃　度（%）
1	1.14
2	2.52
3	1.82
4	3.51
5	0.85

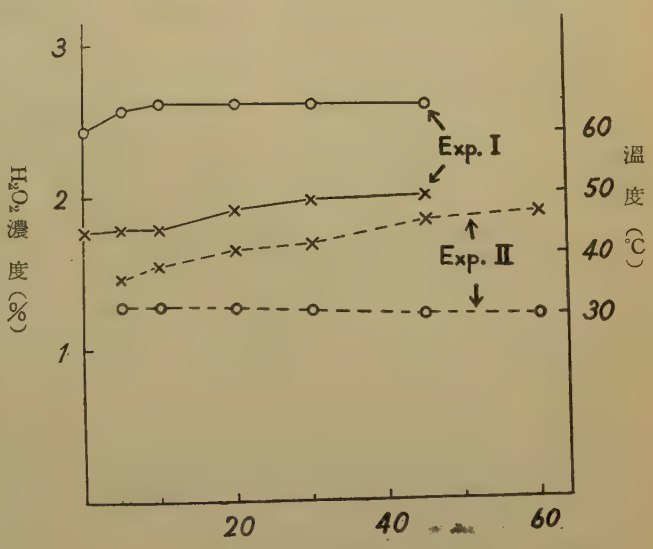
第3表　チクワ H_2O_2 液及びその原液の一般組成

	チクワ H_2O_2 液		原　液
	試　料 I	試　料 II	
外　　觀	白濁	白濁	透明
pH	6.1	6.1	2.0
H_2O_2　（%）	2.18	2.34	32.8
蒸發殘渣（%）	0.47	0.74	0.10
粗　脂　肪（%）	0.30	0.53	—
N　　（%）	0.01	0.02	—
NaCl　（%）	0.05	0.04	—

チクワ H_2O_2 液は白濁し、チクワ表皮の破片や、油狀物質の浮游しているのが認められる場合が多い。H_2O_2 原液、及びこれから調製して漂白處理に使用中のチクワ H_2O_2 液についての分析の結果は第3表の如くである。チクワ H_2O_2 液では、蒸發殘渣としては粗脂肪がその可成りの部分を占めており、これは焙燒時にチクワの表面に塗布している油（燒き上りの色をよくするために油を塗ると業者は云つている）が、H_2O_2 處理によつて、一部洗い落されることに起因するものであろう。N•NaCl 等は僅かながら認められる。

3. チクワ H_2O_2 液の安定性

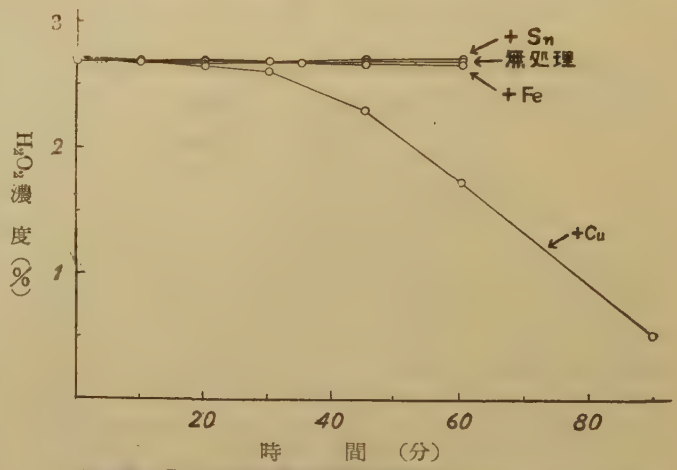
新しい dil. H_2O_2 液が補給されたときを處理時間の 0 分として、漂白處理中における H_2O_2 液の濃度の變化をしらべた結果は第1圖の如くで、大體同一濃度に保たれていることを知る。然し北海道水研網走支所での定量結果では H_2O_2 濃度の低下が認められることを報告している[1]。著者の定量の場合には、處理時間毎のチクワ H_2O_2 液試料を工場で入手してから、實驗室に持ち歸つて H_2O_2 の定量を行うまでに數時間を經過していることもあり、試料は入手時には 40～50°C の溫度であり、試料中に有機物の混在していることが考えられる等のために、H_2O_2 定量までの經過時間中に H_2O_2 の一部が分解し、H_2O_2 濃度が一定値まで低下してしまつた結果かも知れぬ懸念があつたが、このことについて檢討を行つたところ、そのような懸念は殆んど要らず、試料の H_2O_2 濃度は安定に保たれていることを知つた。



第1圖　漂白處理時のチクワ H_2O_2 液の濃度と溫度の變化
○ H_2O_2 濃度；× H_2O_2 液の溫度

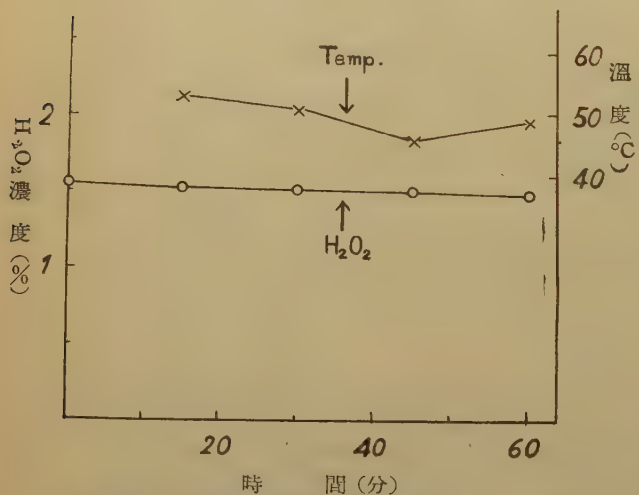
チクワ H_2O_2 液の循環裝置に金屬として Cu•Fe•Sn 等を使用している部分があること、H_2O_2 液は循環による攪拌が絶えず行われていること、有機物の混入が考えられること、H_2O_2 液の貯槽として木製の樽を使用していることもある等、H_2O_2 液の分解を促進しやすいと考えられる條件が多い。一方第1圖にみられるように、チクワ H_2O_2 液の濃度は安定に保たれているので、次のような檢討を行つてみた。

金屬の影響　分析用 30% H_2O_2 から dil. H_2O_2 液を調製し、この dil. H_2O_2 液 80cc に金屬 2g を入れて、湯浴中で約 50°C に保ち時々振盪し、一定時間毎に H_2O_2 濃度を測定した。金屬としては、チクワ工場で使用されている H_2O_2 處理裝置の材質を考慮に入れて、Cu（板狀のものを細切）、Sn（粒狀のものを細切）、Fe（砂狀）を夫々使用した。その結果は第



第2圖　Cu•Fe•Sn 等の金屬の添加が H_2O_2 液の濃度の時間的變化に及ぼす影響

2圖の如くで、Fe•Sn の存在は對照の無處理（金屬を添加せず、約 50°C に保つ）の場合に比較して H_2O_2 濃度の變化は大差はないが、Cu を添加したものでは H_2O_2 濃度の低下は著しい。尙永澤[5] は Fe^{++}•Cu^{++} は何れも H_2O_2 の分解を促進することを報告している。



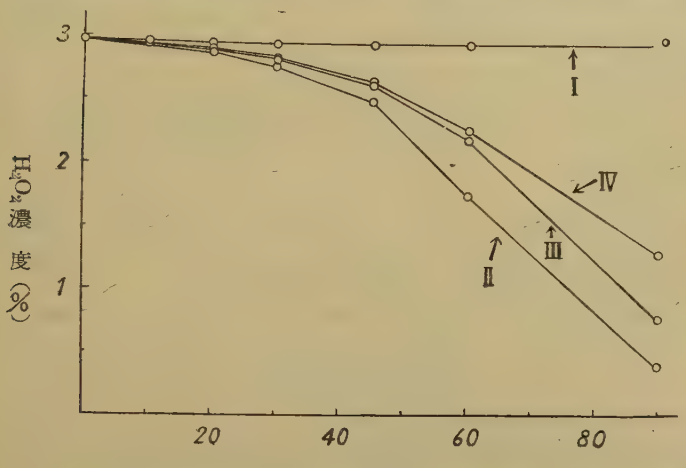
第3圖　Cu の添加がチクワ H_2O_2 液の濃度の時間的變化に及ぼす影響

次にチクワ H_2O_2 液を試料として、これに Cu を添加した場合の H_2O_2 の濃度變化について、上と同樣な條件で實驗を行つた結果は第3圖の如くで、その濃度の低下は僅少である。第2•3兩圖で、分析用 dil. H_2O_2 液•チクワ H_2O_2 液の兩者間には、Cu 存在下での H_2O_2 の安定性に大きな差があることを知る。

尿素の影響　H_2O_2 の安定劑には無機物、有機物が各種知られているが[6),7),8)]、尿素もその一つになつている。ペーパー•クロマトグラフ法によつて尿素の檢出[9)]を試みたところ*、H_2O_2 原液中には尿素が認められなかつたが、チクワ H_2O_2 液中には尿素の存在を認めた。一方チクワ

原料としてはサメ肉が使用される場合が多いから、チクワ H_2O_2 液中の尿素は、チクワの漂白處理時にサメ肉に由來する尿素が、チクワ H_2O_2 液中に移行したものと考えられる。そこで尿素の H_2O_2 に對する安定化の作用の程度をみるために次の實驗を行つた。

分析用 30% H_2O_2 から調製した dil. H_2O_2 80cc に Cu 2g（板狀のものを細切）及び尿素を加え、湯浴中で約 50°C に保ち、前記と同樣にして、H_2O_2 濃度の變化をみた結果は第 4 圖の如くで、尿素が H_2O_2 の安定性を增す効果のあつたことは認められるが、第1•3圖にみられるチクワ H_2O_2 液の極めて安定であることの說明に對しては、尿素の存在がその大きな理由になるとは考えにくい。**



第 4 圖　尿素の添加が H_2O_2 液の濃度の時間的變化に及ぼす影響
I ……無處理（H_2O_2 80cc）
II ……Cu 添加（H_2O_2 80cc+Cu 2g）
III ……尿素添加（H_2O_2 80cc+Cu 2g+尿素 0.008g）
IV ……尿素添加（H_2O_2 80cc+Cu 2g+尿素 0.08g）

市販 H_2O_2 液には一般的に安定劑が入れられてあるのが普通のようである。硫酸・燐酸等は H_2O_2 の安定劑として知られており、一方チクワ漂白用の H_2O_2 原液の pH は低く、SO_4^{--}•PO_4^{----}の反應が認められ、蒸發殘渣は吸濕性が强かつた。チクワ H_2O_2 液の極めて安定であるのは、H_2O_2 原液に入れてあると考えられる安定劑の存在が、その大きな原因となるものではあるまいか。

その他には、漂白處理時にチクワ H_2O_2 液中に移行してくる各種化合物で、安定劑としての作用をもつ化合物（例えば尿素の如き）の混入や、金屬に對する觸媒毒としての作用、又或は石川等[10]が述べている SnO_2 の作用のように、H_2O_2 安定化に有害な金屬イオンを吸着する作用を示す膠質物質の混入等が考えられるであろう。

何れにしても、チクワ H_2O_2 液は安定であり、チクワの表面に附着した H_2O_2 液の分が、漂白處理によつて消費される H_2O_2 の大部分を占めることになる。ある工場での測定の例では、H_2O_2 の消費量はチクワ1本當り 3～6cc であつた。

---

* 一次元上昇法
展開劑：Bu-OH•醋酸•水　(4:1:2)
發色劑：ヂメチルアミノベンズアデヒド 1g+Et-OH 30cc+conc. HCl 30cc+Bu-OH 200cc
100°C で 2,3分 加熱して發色（黃色スポット）
Rf：0.49～0.53（足立によれば 0.55）

** 第4圖の實驗では尿素の含量は試料 H_2O_2 液中夫々 0.01, 0.1% になつている。第3表のチクワ H_2O_2 液中の N が全部尿素の N であると假定した場合の約 1/4～2 倍量に相當する。

4. H_2O_2 のチクワ内部えの滲透と漂白効果

黒ずんだ黄色を呈しているチクワに H_2O_2 處理を行うと、處理後2,3時間經過した後では、チクワの表面だけでなく内部も色が白く冴えたものになるのが觀察される。例えば第4表の如くである。そしてこの色調の變化は無處理・處理を明瞭に判別できる程度のものである。H_2O_2 液の代りに溫湯で濕す處理をチクワに施しては、その色は一向に白くならず、又 H_2O_2 の漂白作用の性質も併せ考えるならば、チクワの漂白効果は H_2O_2 によるものと考えるのが妥當であろう。短時間内にチクワがその内部まで漂白されることは、チクワの表面を濕した H_2O_2 が、内部にも容易に滲透することによるものと考えられ、次のような檢討を行つた。

第4表　チクワの H_2O_2 處理による色調*の變化

チクワの部位 ＼	無處理	H_2O_2 處理
表面	No. 3；4	No. 1；2
内部	No. 2	No. 1；2

* 色調の番號は色名帖（日本色彩研究所，1949）による。

チクワ内部に滲透した H_2O_2 の檢出法　還元されて無色になつたロイコメチレンブルーが、酸化されると青色のメチレンブルーになる性質を利用して、次の方法でチクワ内部に滲透した H_2O_2 を檢出できることを知つた。

（1）M/100 メチレンブルー水溶液に等量の dil. H_2SO_4 を混じ、これに少量の Zn を添加して色素を還元する。液が殆んど無色になつたところで（約30分を要した）、豫め dil. H_2SO_4 に Zn を添加して水素の發生している液で濕した濾紙を用いて濾過し、ロイコメチレンブルー液を濾液として得る。濾過により、濾液は僅かに青色をおびるが、これは以下で行う H_2O_2 の檢出には左程不都合はない。

（2）5×2cm に切つた濾紙片にロイコメチレンブルーを浸ませ、餘分に附着している色素液は別の大型濾紙の間に挟んで除去する。

（3）ロイコメチレンブルーを浸ませた濾紙を、H_2O_2 を檢出しようとする試料の切口の斷面に挟む。

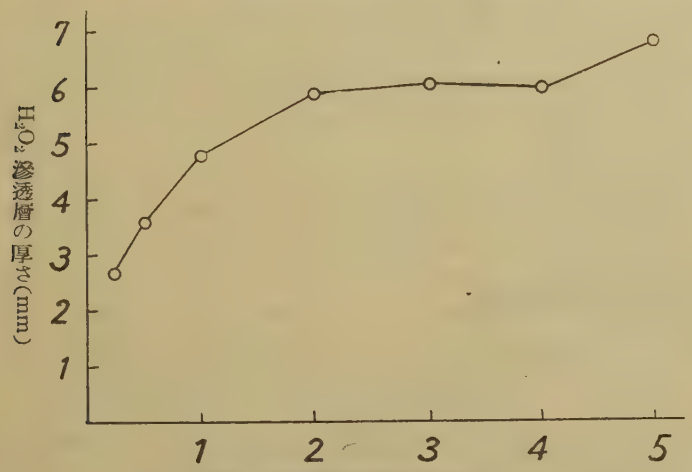
（4）1分後に濾紙をとり出し、濾紙上での色素の發色の有無を檢する。この場合、濾紙上で色素の發色の認められた部分に相當する試料で、H_2O_2 の存在を示すものと考えられる。

（5）ロイコメチレンブルーを浸ませた濾紙は、空氣中に長く放置するときには、酸化されて青色になるので、使用の都度檢出用濾紙をつくる。

チクワ・カマボコを試料として、上記の方法で H_2O_2 の檢出の豫備試驗をしたところ、濾紙上で色素の發色の認められた部分と、試料の漂白されている部分とが大體一致しており、逆に發色の認められなかつた部分と、試料の漂白されていない部分も大體一致していた。試料の溫度の高いときには低いときよりも、短時間内に色素の發色が認められた。又試料の漂白されていない部分や H_2O_2 處理を行つていない試料では、溫度が高くとも色素の發色は認められなかつた。

チクワ内部えの H_2O_2 の滲透　H_2O_2 處理を行つたチクワを試料として、その環狀の斷面につ

いて上記の方法でメチレンブルーの發色帶の巾（この巾がチクワにおける H_2O_2 滲透層の厚さに相當すると考える）を測定した結果は第5圖の如くで、チクワ表面を濕した H_2O_2 は時間の經過に伴い、次第に内部に滲透してゆくことがわかる。H_2O_2 處理後、1日を經過したチクワでは濾紙上での色素の發色は不明瞭か、又は全く認められない場合が多かつた。



第5圖　H_2O_2 處理したチクワにおける H_2O_2 滲透層の厚さの時間的變化
（7個の測定 値の平均値）

5. チクワの H_2O_2 處理による保藏効果

煉製品のネト防止策として、H_2O_2 の使用が知られている[11]。漂白の目的で行われているチクワの處理の保藏の面から觀た場合の効果の概略を知るために、次の試驗を行つた。H_2O_2 處理を行つたチクワ、及び對照として無處理のチクワを夫々5本又は10本づつ使用して、1本宛セロファン紙で包み、約 20°C で貯藏中の變化を觀察した。その結果を概括して表示すると第5表の如くで、業者が漂白の目的と稱して行つている H_2O_2 處理の保藏効果は充分に認められ、特にネトの發生防止に大きな効果をもたらしていることを知る。H_2O_2 處理を行つたチクワの孔の内壁でのネトの發生が、無處理のものにくらべ遲いのが觀察されたが、これは第5圖の H_2O_2 のチクワ内部えの滲透の結果を裏書きしているものと考えられる。又無處理のチクワはネトの發生後は、次第に軟化・崩壞し、完全に腐敗してしまうのが觀

第5表　H_2O_2 處理を行つたチクワの保藏試驗

1. 貯藏温度 21.0～22°.7C　　チクワは夫々10本を使用

處理＼貯藏日數	1	2	3	4	5	6
無處理（對照）	食用に適	食用に適～不適 ネト發生	食用に適～不適 ネト發生	食用に不適 腐敗に近い	—	—
H_2O_2 處理	食用に適	食用に適	食用に適	食用に適	食用に適～不適 ネト發生	食用に不適

2. 貯藏温度 22.5～22°.8C　　チクワは夫々5本を使用

處理＼貯藏日數	1	2	3	4	5
無處理（對照）	食用に適	食用に適～不適 ネト發生	食用に不適 ネト發生	食用に不適 腐敗に近い	—
H_2O_2 處理	食用に適	食用に適	食用に適	食用に適～不適 ネト發生	食用に不適 ネト發生

察されたが、一方 H_2O_2 處理したチクワでは、そのような腐敗はあまり見られず、カビの發生と乾燥がおこり、次第に痩せ細つたチクワになるのが觀察された。

上記の結果から、漂白のために行つている H_2O_2 處理は、鮮度の低下した魚肉を原料としてつくられたチクワに對しては、その保藏効果も考慮に入れられるべきものであろうと考えられる。併しその保藏効果の程度については、上記の簡單な實驗結果から結論を求めるのは無理で、原料魚肉の鮮度や、配合する澱粉中の細菌等と關聯して、詳細な檢討を行わなければならぬものであろう。又煉製品の保藏方法の一つとして、H_2O_2 處理法の可能性については、再檢討の價値があるのではあるまいかとも考えられる。

6. チクワの物理的性狀に及ぼす H_2O_2 處理の影響

チクワの品質に關與する要素の一つに、物理的性狀がある。H_2O_2 處理をしたチクワは軟かく、彈力があるような感じがするが、無處理のチクワは幾分硬く、彈力に乏しく、品質が劣るような感じをうける。著者は松本・新井[12]の方法によつて、凹みの强度・破れの强度を測定してみた。即ち製造後1日を經過したチクワを長さ 2cm に切つて測定用試驗片とし、その斷面について直徑 5mm の球形 plunger を用い、凹みの强度は plunger の沈下距離を 5mm とした。每回5本のチクワについて得られた測定値の平均値は第6表の如くである。凹みの强度・破れの强度は工場によつて夫々可成り異なり、凹みの强度には H_2O_2 處理の有無による差は認めにくいが、破れの强度では各工場別にみるときには、H_2O_2 處理をしたチクワの方が、無處理のチクワのそれにくらべ大きな値を示していることが認められる。併しこれ等の測定値を、上記の觸感による觀察の結果と直接にむすびつけることは、現段階では無理があると思われる。

第6表　H_2O_2 處理の有無とチクワの物理的性狀

試料 No.（工場別）	處理の有無	凹みの强度（g）	破れの强度（g）
I	無處理	225	280
	H_2O_2 處理	198	303
II	無處理	165	187
	H_2O_2 處理	179	237
III	無處理	220	255
	H_2O_2 處理	206	326

要　　約

1. チクワの色を白く仕上げる目的で、チクワの表面を H_2O_2 液で濕す處理を行う場合がある。この H_2O_2 處理についてと、それがチクワに及ぼす影響とについて檢討を行つた。

2. チクワ漂白の目的に使用されている H_2O_2 の濃度は 0.85～3.5% であつた。

3. 漂白處理時に H_2O_2 液の濃度の變化は僅かで、大體一定に保たれていた。これは H_2O_2 液に入つていると考えられる安定劑の存在によるものであろう。

4. H_2O_2 處理によつてチクワはその表面だけでなく、その內部も白くなるのが觀察される。チクワ內部の H_2O_2 の檢出法を定めた。この方法を用いた結果、チクワ表面を濕した H_2O_2 は次第にチクワ內部に滲透してゆくことを知つた。

5. 漂白の目的で行われている H_2O_2 處理は、チクワの保藏性を增す効果があることを知つた。

6. H_2O_2 處理によつて、チクワの物理的觸感がよくなるような感じをうける。物理的性狀として、凹みの强度・破れの强度の測定を試みた。

終りにのぞみ、御懇切な御教示をいただいた利用部長谷井技官・東海區水產研究所右田技官に厚く謝意を表する。又實驗試料の入手に多大の便宜を與えられた水野工場・相庄工場・後藤工場・相喜工場に厚くお禮申上げる。

文　　献

1) 天野慶之：鮮度保持研究班連絡情報 (4) 50-52 (1953)
2) 北海道區水產研究所保藏科：第2回鮮度保持研究班會議要旨 (1952)
3) 三輪勝利：北水試月報 **7**, (9), 16-18；(11), 5-8 (1950)
4) 田元馨：北水試月報 **10**, (9), 8-13 (1953)
5) 永澤信：日化雜 **69**, 72-73；73-75 (1948)
6) 近藤龍・穗波初臣：衛試彙 **42**, 187-189 (1933)
7) 近藤龍・江口二郎：衛試彙 **44**, 132-141 (1934)
8) Machn, W.：Das Wasserstoffperoxid und die Perverbindungen (1937) Julis Springer
9) 足立達：科學 **23**, 582-583 (1953)
10) 石川總雄・芳賀秀雄・芳賀克子：日化雜 **69**, 35-37 (1948)
11) 木村金太郎：最新水產製造全書 上卷, 461-471 (1948) 東京, 產業評論社
12) 松本重一郎・新井とみ子：日水誌 **17**, 377-384 (1952)

既刊　東北海區水產研究所　研究報告

第 1 號　（昭和 27 年 6 月發行）

業績番號			頁
第10號	東北海區に來游するカツオのポピユレーションに就いて	川崎　健	1
第11號	音響測深儀に記錄されたカツオ・マグロ群の像	木村喜之助・岩下光男・服部稔郎	15
第12號	東北海區に於ける底魚の消化系と食性に就いて　第1報　キチヂ	三河正男	20
第13號	東北海區アブラガレイ *Atheresthes evermanni* JORDAN & STARKS に就いて　第1報　年令査定の基礎的研究	甲二郎	25
第14號	底曳網の模型試驗（第1報）	猿田達雄・渡邊光男・安井達夫・三河正男	35
第15號	東北海區サメガレイ *Clidoderma asperrmum* TEMMINCK & SCHLEGEL) に就いて　第1報　年令査定の基礎的研究	甲二郎	43
第16號	魚類の標識放流方法に關する一資料	猿田達雄・笠原康平	50
第17號	ブリ產卵場・產卵期に關するブリ卵巢の調査	木村喜之助	54
第18號	垂下養殖カキの附着生物に關する研究　第1報　ムラサキイガイ (*Mytilus edulis* LINNÈ) の驅除について	佐藤省吾・武田忠郎	63
第19號	松島灣附近のシジミに關する研究	谷田專治・平野和夫	68
第20號	アブラザメ (*Squalus suckleyi G.*) の肝臟色彩とビタミンA濃度の關係	山村彌六郎	83
寄　稿	海況の變化に關する漁業生物學的研究	畑中正吉	83

第 2 號　（昭和 28 年 11 月發行）

第22號	東北海區金華山沖に於けるカツオ主漁場の成立に就いて	北野清光	1
第23號	カツオに寄生する鉤頭虫類の1種 (*Rhadinorhynchus katsuwonis* HARADA) の寄生率について（豫報）	堀田秀之・小川達	11
第24號	薩南海區のカツオの幼魚の分布について	堀田秀之	19
第25號	釣上直後のカツオの體溫に就いて（特に血合筋の異常高溫に關して）	福島信一	22
第26號	東北海區に於ける底魚類の消化系と食性に就いて（第2報）サメガレイ・ババガレイ	三河正男	26
第27號	ババガレイの年令査定及び成長	笠原康平	37
第28號	ナメタガレイ　*Glyptocphealus stelleri* の年令に關する基礎的研究	橘本良平	49
第29號	垂下養殖カキの附着生物に關する研究　第2報　季節的變化	谷田專治・佐藤省吾	56
第30號	アマノリ類の生活史の研究　第1報　果胞子の發芽と生長	黑木宗尙	67
第31號	アサクサノリの糸狀體の果胞子放出に就いて	黑木宗尙	104
第32號	內灣底土中の可溶性榮養塩について　第1報　底土に含まれる可溶性榮養塩についての一考察	奧田泰造	109
第33號	內灣底土中の可溶性榮養塩について　第2報　底土耕耘による榮養塩溶出の可能性について	奧田泰造	118
第34號	アブラザメ (*Squalus suckleyi G.*) の體長と肝油のビタミンA濃度との關係	山村彌六郎・武藤清一郎	126
第35號	寒天ジエリーの强度について　第4報	谷井潔	134

第 3 號　（昭和 29 年 10 月發行）

業績番號

第37號　カツオ群の性狀　第1報　東北海區のカツオ群を“付きもの”別に見た場合の各群の分布・餌付狀態・群の大きさに就いて……木村喜之助

第 4 號　（昭和 30 年 3 月發行）

第41號　東北海區における極前線帶とその變動について第1報……川合英夫　1

第42號　東北海區に於けるカツオ魚群の漁獲水溫に就いて……黒田隆哉　47

第43號　海區別カツオの食餌組成について……堀田秀之・小川達　62

第44號　日本西南海區に來游するカツオの移動および成長に就いて……川崎健　83

第45號　伊豆・小笠原および東北海區におけるカツオの移動および成長について……川崎健　101

第46號　日本近海に於けるマルソーダカツオの季節的分布とその成長……堀田秀之　120

第47號　底曳網漁獲量の群衆生態學的考察……甲二郎　127

第48號　東北海區に於ける底魚類の消化系と食性に就いて　第3報　アブラガレイ……三河正男　136

第49號　アブラガレイの年令査定に就いて……笠原康平　147

第50號　ヤナギムシガレイの年令に關する基礎的研究……橋本良平　156

第51號　サメガレイの生態學的研究　第1報　肥滿度・生殖腺重量の季節的變化に就いて……笠原康平　165

第52號　スルメイカ *Ommostrephes sloani pacificus* (Steenstrup) の成長度と產卵期に就いて……安井達夫・石戸芳男　173

第53號　機船底曳網の網目に依るキチヂ魚體長の選擇性……丸山潔・小瀧一三　180

第54號　松島灣の水產資源に關する基礎研究　第1報　松島灣の底質について……奥田泰造・佐藤省吾　187

寄稿　松島灣の水產資源に關する基礎研究　第2報　松島灣の底棲生物群集……山本護太郎　208

第55號　內灣底土中の可溶性榮養塩について　第3報　底土に含まれている可溶性榮養塩の海水中への溶出に關する二・三の考察……奥田泰造　215

第56號　養殖海苔の色澤變化に關する研究　第1報　水溶性色素の變化について……佐野孝　243

第57號　乾燥・海水塩分・光線がアマノリ類の糸狀體（Conchocelis 期）に及ぼす影響……黒木宗尙・平野和夫　262

第58號　アサクサノリの糸狀體の單胞子放出について　第2報　放出の日週期……黒木宗尙・平野和夫　279

第59號　乾ノリに關する研究　第1報　ノリの赤外線乾燥處理についての考察……梅本滋　283

第60號　岩手縣沿岸河川の水質について……佐野孝　294

第61號　アブラガレイのビタミンA含量の研究　第1報……山村彌六郎・武藤清一郎　299

既刊　研究業績（東北海區水產研究所　研究報告　以外の分）

業績番號

第1號　漂流瓶による海流調査（第1報）駿河灣の海流（特に灣内の循環流に就いて）
……木村喜之助〔日本海洋學會誌，第5卷，第2～4號，p. 70～84（1950）〕

第2號　東北海區カツオ魚體組成について
……山中　一郎〔日本海洋學會誌，第5卷，第2～4號，p. 99～104(1950)〕

第3號　異方性海洋に於ける定常吹送循環流に就いての一問題　第1報　解析的解法（其の 1）
……齋藤　泰一〔日本海洋學會誌，第5卷，第2～4號，p. 130～142(1950)〕

第4號　寒天ジエリーの强度について（其の 3）
……谷井　　潔〔日本水產學會誌，第16卷，第 4號，p. 115～118(1950)〕

第5號　アブラザメ燻製保存試驗　第1報　腐敗觀を呈する迄の日數と溫度との關係
……山村彌六郎〔日本水產學會誌，第16卷，第10號，p. 433～434(1951)〕

第6號　同　　上　第2報　油脂の變化について
……山村彌六郎〔日本水產學會誌，第16卷，第11號，p. 510～512(1950)〕

第7號　同　　上　第3報　アンモニアの生成について
……山村彌六郎〔日本水產學會誌，第16卷，第11號，p. 513～516(1951)〕

第8號　魚粉食用化に關する研究 ……東　　秀雄，新田　忠雄，長倉　克男，梅本　　滋
〔日本水產學會誌，第17卷，第 6號，p. 147～156(1951)〕

第9號　アブラザメ肝臟のビタミン A に關する研究　第4報　季節的變化について
……山村彌六郎〔日本水產學會誌，第17卷，第11號，p. 337～341(1952)〕

第21號　サバの洄游路（サバ標識放流試驗結果）
……木村喜之助〔日本水產學會誌，第19卷，第 4號，p. 415～423(1953)〕

第36號　NH_3–H_2O 系による寒天質の抽出について……谷井　　潔（東北水研），絹卷　　烝（東北大學非水研）
〔東北大學非水溶液化學研究所報告，第3卷，第2號，p. 129～136(1953)〕

第38號　魚肉の坐りについて（V）坐りの判定及び比較の方法
……梅本　　滋（東北水研），岡田　稔（東海水研），右田　正男（東海水研）
〔日本水產學會誌，第20卷，第4號，p. 313～318(1954)〕

第39號　サンマ尾端の黃色々素について（豫報）
……長倉　克男〔日本水產學會誌，第20卷，第4號，p. 286～291(1954)〕

第40號　NH_3–$C_3H_5(OH)_3$ 系に依る寒天質の抽出について
……谷井　　潔（東北水研），絹卷　　烝（東北大學非水研）
〔東北大學非水溶液化學研究所報告，第4卷，第2號，p, 133～142(1954)〕

既刊　出　版　物（研究業績以外の重要出版物）

東北水研叢書

第1號　カツオに就いて（1952），　第2號　カキの養殖（1952）
第3號　海苔養殖に就いて（1952），　第4號　サメの利用（1952）
第5號　東北・北海道太平洋沿岸水域に於ける機船底曳網漁業の禁止區域と網目に就いて（1952）

東北海區水產研究所海洋資源年報

昭和 24 年度海洋調查篇　（1952 發行）
昭和 26 年度底魚資源篇　（1952 〃 ）
昭和 26—27 年度底魚資源篇　（1954 〃 ）
昭和 27—28 年度底魚資源篇　（1955 〃 ）
昭和 26 年度カツオ資源篇　（1955 〃 ）
昭和 26 年度サンマ資源篇　（1955 〃 ）

東北海區水產研究所
研究報告(第5號)

印刷發行　昭和30年10月22日
編　輯　東北海區水產研究所
印刷者　相澤嘉造
東北印刷株式會社
仙臺市教樂院丁6

發行所　東北海區水產研究所
宮城縣塩釜市東塩釜　電話1260番

CONTENTS

Kawai, H. On the Polar Frontal Zone and its Fluctuation in the Waters to the Northeast of Japan (II) 1

Yao, M. On the Ovaries of the Skipjack, *Katsuwonus pelamis* (LINNAEUS), captured in the Fishing Grounds Along the Japanese Coast 43

Tanita, S. On the Growth of the Arkshell, *Anadara subcrenata* 53

Sano, T. Studies on the Colour Change of Cultured Lavers II. On the Change of Chlorophyll, Carotenoid and Other Hydrochrome 64

Okuda, T. On the Soluble Nutrients in Bay Deposits IV. An Experiment on the Behavior of Phosphate-Phosphorus between Mud and Sea Water 79

Yamamura, Y. Studies on the Mode of the Existence of Vitamin A in Fish Liver and the other Organs (I) 92

Umemoto, S. On the Bleaching Treatment of "Chikuwa" (A Food Product of Fish Meat Jelly) with H_2O_2 103

ANSLATION IN
EPRINT FILE